ผลของความลาดชันความเร็วและอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่อการบำบัดน้ำเสียยางข้น โดยใช้ระบบเอเอสบีอาร์

นางสาวณัฐกานต์ กาญจนวัฒน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT 0F VELOCITY GRADIENT AND ORGANIC LOADING RATE ON TREATMENT OF CONCENTRATED LATEX WASTEWATER BY ASBR SYSTEM

Miss Nuttakan Kanjanawat

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Environmental Science
(Interdisciplinary Program)
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของความลาดชันความเร็วและอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่อการบำบัดน้ำเสียยางข้นโดยใช้ระบบเอเอสบีอาร์
โดย	นางสาวณัฐกานต์ กาญจนวัฒน์
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สมใจ เพ็งปรีชา)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ ดร. สาโรช บุญยกิจสมบัติ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ณัฐกานต์ กาญจนวัฒน์ : ผลของความลาดชันความเร็วและอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่อการบำบัดน้ำเสียยางข้นโดยใช้ระบบเอเอสบีอาร์. (EFFECT OF VELOCITY GRADIENT AND ORGANIC LOADING RATE ON TREATMENT OF CONCENTRATED LATEX WASTEWATER BY ASBR SYSTEM) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ. ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล,186 หน้า.

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของความลาดชันความเร็วและอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่อการบำบัดน้ำเสียยางข้นโดยใช้ระบบเอเอสบีอาร์ โดยศึกษาจำนวนรอบเวลาเดินระบบ เป็นจำนวน 1-4 รอบ แต่ละรอบเวลาเดินระบบเท่ากับ 1, 3, 5, และ 7 วัน ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที และอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 77.91, 80.59, 82.97 และ 85.22 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากนั้นศึกษาการเปลี่ยนความลาดชันความเร็วของระบบที่ 40, 60, 80 และ 100 ต่อวินาที ตามลำดับ และลดอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เป็น 3, 2, 1 และ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน พบว่าที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 77.05, 85.22, 80.97 และ 79.19 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 55.35, 67.66, 63.79 และ 58.85 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 80.36, 96.00, 92.72 และ 86.72 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 79.57, 87.28, 82.72 และ 80.97 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 60.50, 68.44, 66.35 และ 63.05 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 82.47, 96.62, 93.30 และ 88.10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 80.95, 89.63, 85.54 และ 85.28 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 69.98, 73.98, 73.63 และ 70.98 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 86.14, 94.21, 92.73 และ 88.60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 85.05, 93.35, 90.65 และ 88.10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 77.30, 93.08, 88.11 และ 79.74 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 84.19, 95.01, 90.03 และ 88.64 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังนั้นการบำบัดน้ำเสียยางข้นโดยใช้ระบบเอเอสบีอาร์ในทุกอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ที่รอบเวลาเดินระบบ 7 วัน และความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที ระบบสามารถกำจัดซีโอดี ซัลเฟต และของแข็งแขวนลอยได้ประสิทธิภาพดีที่สุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต ณัฐกานต์ กาญจนวัฒน์

ปีการศึกษา 2552 ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

5087131320 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORDS : ASBR/ ORGANIC LOADING RATE / VELOCITY GRADIENT

NUTTAKAN KANJANAWAT : EFFECT OF VELOCITY GRADIENT AND ORGANIC LOADING RATE TREATMENT OF CONCENTRATED LATEX WASTEWATER BY ASBR SYSTEM. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. CHAVALIT RATANATAMSKUL, Ph.D.,186 pp.

The research aims to study effects of velocity gradient and organic loading rate on treatment of concentrated latex wastewater by ASBR system. The experiment of cycle number was performed at 1-4 cycle at 1, 3, 5 and 7 days at constant velocity gradient 60 sec^{-1} with organic loading rate 3 $kgCOD/(m^3.d)$. The system performance for COD removal were found to be 77.91, 80.59, 82.97 and 85.22 %,respectively. Then, the velocity gradients of the system were varied to 40, 60, 80 and 100 sec^{-1} and organic loading rates were reduced to be 3, 2, 1 and 0.5 $kgCOD/(m^3.d)$, it was found that at organic loading rate 3 kg $COD/(m^3.d)$ and operating velocity gradients at 40, 60, 80 and 100 sec^{-1}, removal percentages for COD were 77.05, 85.22, 80.97 and 79.19 %, respectively ; for sulfate were 55.35, 67.66, 63.79 and 58.85 %, respectively ; and for suspended solid were 80.36, 96.00, 92.72 and 86.72 % ; respectively. Also, at organic loading rate 2 kg $COD/(m^3.d)$ and operating velocity gradients at 40, 60, 80 and 100 sec^{-1}, removal percentages for COD were 79.57, 87.28, 82.72 and 80.97 %, respectively ; for sulfate were 60.50, 68.44, 66.35 and 63.05 %, respectively ; and for suspended solid were 82.47, 96.62, 93.30 and 88.10 % ; respectively. It was found that at organic loading rate 1 kg $COD/(m^3.d)$ and operating velocity gradients at 40, 60, 80 and 100 sec^{-1}, removal percentages for COD were 80.95, 89.63, 85.54 and 85.28 %, respectively ; for sulfate were 69.98, 73.98, 73.63 and 70.98 %, respectively ; and for suspended solid were 86.14, 94.21, 92.73 and 88.60 % ; respectively. Moreover, it was found that at organic loading rate 0.5 kg $COD/(m^3.d)$ and operating velocity gradients at 40, 60, 80 and 100 sec^{-1}, removal percentages for COD were 85.05, 93.35, 90.65 and 88.10 %, respectively ; for sulfate were 77.30, 93.08, 88.11 and 79.74 %, respectively ; and for suspended solid were 84.19, 95.01, 90.03 and 88.64 % ; respectively. Therefore, the optimum condition for treatment of latex wastewater by ASBR system is suggested to be with cycle period of 7 days and velocity gradient of 60sec^{-1}.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Field of Study : Environmental Science Student's Signature : Nuttakan Kanjanawat

Academic Year : 2009 Advisor's Signature : Chavalit Rat

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำในการวางแผนและดำเนินการวิจัย ตลอดจนตรวจสอบแก้ไขปรับปรุงเนื้อหาหรือข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่ ปลูกฝังให้ผู้วิจัยมีความมุ่งมั่นและเป็นแบบอย่างที่ดีต่อผู้วิจัยมาโดยตลอด จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี และขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เพ็งปรีชา รองศาสตราจารย์ ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ และอาจารย์ ดร. สาโรช บุญยกิจสมบัติ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำและปรับปรุงวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ ภาควิชาสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ เรื่อยมา จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่ให้ความอนุเคราะห์และอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อใช้ในงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณามอบทุนสนับสนุนในการทำงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณ บริษัท ทุ่งสงสี่สวัสดิ์ จำกัด ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์น้ำเสีย ตลอดจนอำนวยความสะดวกในการขนส่งน้ำเสียเพื่อใช้ในงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ บริษัท ไทยอีสเทิร์น รับเบอร์ จำกัด ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เชื้อตะกอนจุลินทรีย์เพื่อใช้ในงานวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และญาติพี่น้องทุกท่าน ที่ให้การสนับสนุนและส่งเสริมทางการศึกษา ตลอดจนคอยเป็นกำลังใจที่ดีให้แก่ผู้วิจัยเสมอมา จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย…….. ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง…….. ญ

สารบัญภาพ…… ฌ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 บทนำ……. 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย…….. 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย…….. 3

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ…… 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง……..... 4

2.1 การบำบัดน้ำเสีย……. 4

2.1.1 ความหมายของน้ำเสีย……..... 4

2.1.2 กระบวนการบำบัดน้ำเสีย……. 4

2.2 กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน…….. 5

2.2.1 จุลินทรีย์ในกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน…… 5

2.2.2 เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (microbial granules)…… 6

2.2.3 กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน……... 8

2.2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน... 12

2.3 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน (AnaerobicTreatment)……..... 15

2.3.1 บ่อแอนแอโรบิกหรือบ่อเหม็น…….. 16

2.3.2 ถังย่อยสลัดจ์…… 17

2.3.3 ถังย่อยแบบสัมผัส……. 19

2.3.4 ถังย่อยแบบแยกเชื้อ……..... 19

2.3.5 เครื่องกรองแบบไม่ใช้ออกซิเจน……... 20

2.3.6 ระบบชั้นลอยตัวแบบไม่ใช้ออกซิเจน……... 21

หน้า

2.3.7 ระบบยูเอเอสบี…… 22
2.3.8 ระบบอีจีเอสบี…….. 23
2.3.9 ระบบจานหมุนชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน…… 24
2.3.10 ระบบแผ่นกั้นไม่ใช้ออกซิเจน…… 25
2.3.11 ระบบเอเอสบีอาร์……... 26
2.4 น้ำยางข้น……..... 28
2.4.1 ประวัติยางพารา……... 28
2.4.2 ส่วนประกอบในน้ำยางธรรมชาติ…… 28
2.4.3 สมบัติและการใช้งานน้ำยางข้นชนิดต่างๆ……... 30
2.4.4 กระบวนการผลิตน้ำยางข้น…….. 31
2.5 สมดุลมวลของซีโอดีและซัลเฟอร์ในระบบ……... 35
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง……..... 39

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย…… 42
3.1 รูปแบบการวิจัย…….. 42
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้……. 42
3.3 วิธีดำเนินการทดลอง…….. 43
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ……... 45

บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล……... 46
4.1 ผลการวิจัย…….. 46
4.1.1 ผลการศึกษาการบำบัดน้ำเสียยางข้นโดยระบบเอเอสบีอาร์……..... 46
4.1.2 ผลการศึกษาการบำบัดน้ำเสียยางข้นโดยระบบเอเอสบีอาร์……. 49
4.2 การวิจารณ์ผลของความลาดชันความเร็วและอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 103
ต่อการบำบัดน้ำเสียยางข้นโดยใช้ระบบเอเอสบีอาร์……
4.4.1 ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด…… 103
4.4.2 ซัลเฟตและประสิทธิภาพการกำจัด…….. 110
4.4.3 ของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัด…… 116

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

4.3 สมดุลมวลสารของระบบ..... 123
4.3.1 สมดุลมวลของซีโอดี..... 123
4.3.2 สมดุลมวลของซัลเฟอร์..... 126

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 128
5.1 สรุปผลการวิจัย..... 128
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 129
รายการอ้างอิง..... 130
ภาคผนวก..... 133
ภาคผนวก ก ผลการทดลอง..... 134
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ..... 175
ภาคผนวก ค การคำนวณสมดุลมวลของสารในระบบ..... 183
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 186

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ลักษณะน้ำเสียในโรงงานน้ำยางข้น.....	1
2.1	ระดับความเข้มข้นของสารพิษชนิดต่าง ๆ ที่มีผลต่อแบคทีเรียในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน.....	15
2.2	การเปรียบเทียบกระบวนการบำบัดน้ำเสียไม่ใช้ออกซิเจน.....	16
2.3	ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ.....	29
3.1	ลักษณะน้ำเสียยางข้น.....	43
3.2	พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์.....	44
4.1	จำนวนรอบเวลาเดินระบบของการทดลอง.....	47
4.2	ค่าพีเอช (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)....	50
4.3	ค่าพีเอช (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)....	51
4.4	ค่าพีเอช (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)....	51
4.5	ค่าพีเอช (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)..	52
4.6	ค่าอุณหภูมิ (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน).	56
4.7	ค่าอุณหภูมิ (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน).	56
4.8	ค่าอุณหภูมิ (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน).	57
4.9	ค่าอุณหภูมิ (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์0.5กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน).	57
4.10	ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน).....	62
4.11	ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน).....	63
4.12	ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน).....	64
4.13	ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน).....	65
4.14	ค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน).....	73

ตารางที่		หน้า
4.15	ค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)……	74
4.16	ค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)……	75
4.17	ค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)……	76
4.18	ค่าปริมาณซัลเฟตและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)……..	84
4.19	ค่าปริมาณซัลเฟตและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)……	85
4.20	ค่าปริมาณซัลเฟตและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)……..	86
4.21	ค่าปริมาณซัลเฟตและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)……..	87
4.22	ค่าซัลไฟด์ (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน).	94
4.23	ค่าซัลไฟด์ (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน).	94
4.24	ค่าซัลไฟด์ (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน).	95
4.25	ค่าซัลไฟด์ (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)……..	95
4.26	ก๊าซชีวภาพ (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน).	98
4.27	ก๊าซชีวภาพ (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน).	98
4.28	ก๊าซชีวภาพ (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน).	99
4.29	ก๊าซชีวภาพ(อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์0.5กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน).	99
4.30	สัดส่วนก๊าซมีเทน (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5, 1, 2 และ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)…….....	102
4.31	ค่า % COD recovery……...	124
4.32	เปอร์เซ็นต์การไหลของอิเล็กตรอน (% electron flow)……...	125
4.33	ค่า % sulfer recovery……..	126
ก.1	จำนวนรอบเวลาเดินระบบของการทดลอง…….	134
ก.2	ค่าพีเอช (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)….	135

ตารางที่		หน้า
ก.3	ค่าอุณหภูมิ (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน).	136
ก.4	ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน).....	137
ก.5	ค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน).....	139
ก.6	ค่าปริมาณซัลเฟตและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน).....	141
ก.7	ค่าซัลไฟด์ (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน).	143
ก.8	ก๊าซชีวภาพ (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน).	144
ก.9	ค่าพีเอช (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)....	145
ก.10	ค่าอุณหภูมิ (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน).	146
ก.11	ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน).....	147
ก.12	ค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน).....	149
ก.13	ค่าปริมาณซัลเฟตและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน).....	151
ก.14	ค่าซัลไฟด์ (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน).	153
ก.15	ก๊าซชีวภาพ (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน).	154
ก.16	ค่าพีเอช (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)....	155
ก.17	ค่าอุณหภูมิ (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน).	156
ก.18	ค่าสภาพด่าง (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์1กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)..	157
ก.19	ค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน).....	159
ก.20	ค่าปริมาณซัลเฟตและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน).....	161
ก.21	ค่าซัลไฟด์ (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน).	163
ก.22	ก๊าซชีวภาพ (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน).	164
ก.23	ค่าพีเอช (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)..	165
ก.24	ค่าอุณหภูมิ (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์0.5กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน).	166

ตารางที่		หน้า
ก.25	ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)……	167
ก.26	ค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)……..	169
ก.27	ค่าปริมาณซัลเฟตและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)……..	171
ก.28	ค่าซัลไฟด์ (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)	173
ก.29	ก๊าซชีวภาพ(อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์0.5กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน).	174
ข.1	ผลการวิเคราะห์น้ำเสียยางข้นด้วยสถิติ F-test (Oneway ANOVA) อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน…….	175
ข.2	เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบเอเอสบีอาร์ที่ความลาดชันความเร็วแตกต่างกันของน้ำเสียยางข้นด้วยสถิติ F-test (Oneway ANOVA) อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน…….	176
ข.3	ผลการวิเคราะห์น้ำเสียยางข้นด้วยสถิติ F-test (Oneway ANOVA) อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน…….	177
ข.4	เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบเอเอสบีอาร์ที่ความลาดชันความเร็วแตกต่างกันของน้ำเสียยางข้นด้วยสถิติ F-test (Oneway ANOVA) อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน…….	178
ข.5	ผลการวิเคราะห์น้ำเสียยางข้นด้วยสถิติ F-test (Oneway ANOVA) อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน…….	179
ข.6	เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบเอเอสบีอาร์ที่ความลาดชันความเร็วแตกต่างกันของน้ำเสียยางข้นด้วยสถิติ F-test (Oneway ANOVA) อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน…….	180
ข.7	ผลการวิเคราะห์น้ำเสียยางข้นด้วยสถิติ F-test (Oneway ANOVA) อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน……..	181
ข.8	เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบเอเอสบีอาร์ที่ความลาดชันความเร็วแตกต่างกันของน้ำเสียยางข้นด้วยสถิติ F-test (Oneway ANOVA) อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน……..	182

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	โครงสร้างทั่วไปของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์.....	8
2.2	ขั้นตอนในการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน.....	11
2.3	ถังย่อยชนิดอัตราต่ำ.....	17
2.4	ถังย่อยแบบอัตราสูง.....	18
2.5	ถังย่อยแบบอัตราสูงที่มีการแยกตะกอน.....	18
2.6	ระบบถังย่อยแบบสัมผัส.....	19
2.7	ระบบถังย่อยแบบแยกเชื้อ.....	20
2.8	ระบบเครื่องกรองไม่ใช้ออกซิเจน.....	21
2.9	ระบบชั้นลอยตัวแบบไม่ใช้ออกซิเจน.....	22
2.10	ระบบยูเอเอสบี.....	23
2.11	ระบบถังหมักแบบอีจีเอสบี.....	24
2.12	ระบบจานหมุนชีวภาพไม่ใช้ออกซิเจน.....	25
2.13	ระบบแผ่นกั้นไม่ใช้ออกซิเจน.....	25
2.14	ขั้นตอนการเดินระบบ ASBR.....	27
2.15	ผังการผลิตน้ำยางข้นโดยการปั่น.....	32
2.16	ภาพตัดตามยาวของถังปั่นน้ำยางข้น.....	33
2.17	กระบวนการผลิตน้ำยางข้นและน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต.....	34
3.1	แบบจำลองระบบเอเอสบีอาร์.....	43
4.1	ปริมาณซีโอดีของการทดลอง (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน).....	48
4.2	ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของการทดลองที่มีอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน.....	48
4.3	ค่าพีเอช (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน).....	53
4.4	ค่าพีเอช(อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน).....	53

ภาพที่ หน้า

4.5 ค่าพีเอช (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)…… 54

4.6 ค่าพีเอช (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)…… 54

4.7 ค่าอุณหภูมิ (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน) 58

4.8 ค่าอุณหภูมิ (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน) 58

4.9 ค่าอุณหภูมิ (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน) 59

4.10 ค่าอุณหภูมิ (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์0.5กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน) 59

4.11 ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอย (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)…… 67

4.12 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของการทดลองที่มีอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน……... 67

4.13 ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอย (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)…… 68

4.14 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของการทดลองที่มีอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน……... 68

4.15 ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอย (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)…… 69

4.16 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของการทดลองที่มีอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน……... 69

4.17 ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอย (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)…… 70

4.18 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของการทดลองที่มีอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน…… 70

4.19 ค่าซีโอดี (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)…. 78

4.20 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของการทดลองที่มีอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน…….... 78

4.21 ค่าซีโอดี (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)…. 79

4.22 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของการทดลองที่มีอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน…… 79

ภาพที่		หน้า
4.23	ค่าซีโอดี (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)….	80
4.24	ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของการทดลองที่มีอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน……...	80
4.25	ค่าซีโอดี (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)..	81
4.26	ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของการทดลองที่มีอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน……	81
4.27	ค่าปริมาณซัลเฟต (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)…….	89
4.28	ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตของการทดลองที่มีอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน……...	89
4.29	ค่าปริมาณซัลเฟต (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)……...	90
4.30	ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตของการทดลองที่มีอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน……...	90
4.31	ค่าปริมาณซัลเฟต (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน…….....	91
4.32	ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตของการทดลองที่มีอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน……...	91
4.33	ค่าปริมาณซัลเฟต (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)…….	92
4.34	ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตของการทดลองที่มีอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน……	92
4.35	ค่าซัลไฟด์ (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)..	96
4.36	ค่าซัลไฟด์ (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)..	96
4.37	ค่าซัลไฟด์ (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)..	97
4.38	ค่าซัลไฟด์(อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)	97
4.39	ก๊าซชีวภาพ (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)	100
4.40	ก๊าซชีวภาพ (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)	101
4.41	ก๊าซชีวภาพ (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)	101
4.42	ก๊าซชีวภาพ(อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์0.5กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)	101

ภาพที่		หน้า
4.43	ก๊าซชีวภาพ (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์0.5, 1, 2 และ 3กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)……..	102
4.44	สัดส่วนก๊าซมีเทนของระบบ (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์0.5, 1, 2 และ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)……	103
4.45	ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีที่ความลาดชันความเร็วที่แตกต่างกัน (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)…….	105
4.46	ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีที่ความลาดชันความเร็วที่แตกต่างกัน (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)…….	105
4.47	ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีที่ความลาดชันความเร็วที่แตกต่างกัน (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)…….	106
4.48	ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีที่ความลาดชันความเร็วที่แตกต่างกัน (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน).....	106
4.49	เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีต่ออัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ความลาดชันความเร็วแตกต่างกัน……..	107
4.50	ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีกับความลาดชันความเร็ว (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)….	108
4.51	ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีกับความลาดชันความเร็ว (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)…….	108
4.52	ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีกับความลาดชันความเร็ว (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)…….	109
4.53	ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีกับความลาดชันความเร็ว (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)…….	109
4.54	ประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตที่ความลาดชันความเร็วที่แตกต่างกัน (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)…….	111
4.55	ประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตที่ความลาดชันความเร็วที่แตกต่างกัน (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)…….	112
4.56	ประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตที่ความลาดชันความเร็วที่แตกต่างกัน (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)…….	112
4.57	ประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตที่ความลาดชันความเร็วที่แตกต่างกัน (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)…..	113

ภาพที่		หน้า
4.58	เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตต่ออัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ความลาดชันความเร็วแตกต่างกัน.....	113
4.59	ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตกับความลาดชันความเร็ว (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)…..	114
4.60	ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตกับความลาดชันความเร็ว (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)…….	115
4.61	ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตกับความลาดชันความเร็ว (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)…….	115
4.62	ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตกับความลาดชันความเร็ว (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)…….	116
4.63	ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยที่ความลาดชันความเร็วที่แตกต่างกัน (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)...	118
4.64	ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยที่ความลาดชันความเร็วที่แตกต่างกัน (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)...	118
4.65	ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยที่ความลาดชันความเร็วที่แตกต่างกัน (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)...	119
4.66	ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยที่ความลาดชันความเร็วที่แตกต่างกัน (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)	119
4.67	เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยต่ออัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ความลาดชันความเร็วแตกต่างกัน……	120
4.68	ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตกับความลาดชันความเร็ว (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)…..	121
4.69	ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตกับความลาดชันความเร็ว (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)…….	121
4.70	ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตกับความลาดชันความเร็ว (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)…….	122
4.71	ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตกับความลาดชันความเร็ว (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)…….	122

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

ยางพารา (*Hevea brasiliensis*) เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญและปลูกกันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย ซึ่งมีพื้นที่ปลูกยางพารามากเป็นอันดับสองรองจากประเทศอินโดนีเซีย โดยประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกยางประมาณ 14 ล้านไร่ (สมาคมยางพาราไทย, 2551) ส่วนใหญ่อยู่ในภาคใต้และภาคตะวันออกและมีการใช้ประโยชน์จากยางพาราเป็นอย่างมาก เช่น ถุงมือยาง ยางแผ่นรมควัน เป็นต้น ปัจจุบันความต้องการใช้ยางธรรมชาติเพิ่มขึ้น ทำให้จำนวนโรงงานยางและกำลังการผลิตของโรงงานเพิ่มขึ้นอย่างมากเพื่อรองรับวัตถุดิบและความต้องการที่เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดน้ำเสียที่มีค่าความสกปรกสูง ลักษณะน้ำเสียในโรงงานน้ำยางข้นแสดงดังในตารางที่ 1.1 ที่ผ่านมาการจัดการน้ำเสียยางข้นใช้ระบบบ่อผึ่ง ซึ่งต้องใช้พื้นที่มากในการบำบัด ส่งกลิ่นเหม็น และไม่มีการเก็บก๊าซมีเทนไปใช้ประโยชน์ในด้านการประหยัดพลังงาน เป็นต้น ดังนั้นจึงต้องมีการจัดการน้ำเสียที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ เพื่อจะได้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการลงทุนและไม่ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมได้

ตารางที่ 1.1 ลักษณะน้ำเสียในโรงงานน้ำยางข้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)

ลักษณะ	น้ำเสีย
พีเอช	5.72
อุณหภูมิ (^{O}C)	30.0
ซีโอดี (มก./ลิตร)	7,996
ของแข็งแขวนลอย (มก./ลิตร)	1,128
ซัลไฟด์ทั้งหมด (มก./ลิตร)	<1
ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (มก./ลิตร)	<1
ซัลเฟต (มก./ลิตร)	1,102

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ระบบเอเอสบีอาร์ (Anaerobic Sequencing Batch Reactor) เป็นระบบบำบัดแบบไร้อากาศ มีจุลินทรีย์ในระบบอยู่ในลักษณะของตะกอนแขวนลอย มีลักษณะการทำงานเป็นแบบกะ (Batch) กระบวนการต่างๆในระบบจะถูกดำเนินการเป็นลำดับขั้นตอนภายในถังปฏิกิริยาเดียวกัน ใช้สเกลเวลาเป็นตัวกำหนดขั้นตอนการดำเนินงานของระบบ คล้ายกับระบบเอสบีอาร์ การบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนมีข้อดีเหนือกว่าการบำบัดแบบใช้ออกซิเจนหลายประการ ทั้งในด้านการประหยัดพลังงานที่ใช้ในการเติมอากาศ ความสามารถในการเปลี่ยนสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทนซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิงได้ ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้ศึกษาผลของความลาดชันความเร็วและอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่อการบำบัดน้ำเสียยางข้นโดยใช้ระบบเอเอสบีอาร์ ระบบนี้อาศัยหลักการทำงานของจุลินทรีย์เป็นตัวย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำได้อย่างทั่วถึง กำลังในการกวนของเหลวด้วยใบพัดในถังปฏิกรณ์แบบไร้อากาศคำนวณได้จากค่าความลาดชันความเร็ว (G : Velocity Gradient) เท่ากับ $(P / \mu V)^{1/2}$ {เมื่อ G คือ ความลาดชันความเร็ว(ต่อวินาที), P คือ กำลังในการปั่นกวน (นิวตัน-เมตรต่อวินาที), μ คือ ความหนืดพลวัตต์ของน้ำ (นิวตัน-วินาทีต่อตารางเมตร), V คือ ปริมาตรของถังปฏิกรณ์ (ลูกบาศก์เมตร)} และเนื่องจากภายในถังมีการกวนผสมน้ำเสียอย่างทั่วถึง ทำให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดขึ้นสูง ระบบสามารถรับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง และนอกจากนี้ยังช่วยลดระยะเวลาในการกักเก็บน้ำเสียในถังปฏิกรณ์ลงได้ ซึ่งผลจากการทดลองทำให้สามารถบอกถึงความลาดชันความเร็วและอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของระบบเอเอสบีอาร์ในการบำบัดน้ำเสียยางข้น รวมถึงความเป็นไปได้ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียดังกล่าวได้ ดังนั้นการเลือกใช้ความลาดชันความเร็วและอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ก็เป็นเงื่อนไขการทำงานที่มีความสำคัญ และจำเป็นที่จะต้องมีการศึกษาเลือกใช้ให้เหมาะสม เพื่อนำไปสู่การประยุกต์ใช้เป็นทางเลือกในการบำบัดน้ำเสียยางข้น เพื่อรองรับการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นจากการขยายตัวของการผลิตในปัจจุบันได้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของความลาดชันความเร็วที่มีต่อการบำบัดน้ำเสียยางข้นโดยใช้ระบบเอเอสบีอาร์
2. เพื่อศึกษาผลของอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่มีต่อการบำบัดน้ำเสียยางข้นโดยใช้ระบบเอเอสบีอาร์

1.3 สมมติฐานของงานวิจัย

1. ความลาดชันความเร็วมีผลต่อการบำบัดน้ำเสียยางข้นโดยใช้ระบบเอเอสบีอาร์
2. อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์มีผลต่อการบำบัดน้ำเสียยางข้นโดยใช้ระบบเอเอสบีอาร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการที่ชั้น 1 ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยใช้แบบจำลองของระบบเอเอสบีอาร์ (anaerobic sequencing batch reactor : ASBR) ประกอบด้วยถังปฏิกรณ์รูปทรงกระบอกมีปริมาตร 10 ลิตร มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร เริ่มต้นระบบศึกษาจำนวนรอบเวลาเดินระบบ (cycle number) ที่ 1-4 รอบ โดยกำหนดให้แต่ละรอบเวลาเดินระบบเท่ากับ 1, 3, 5 และ 7 วัน ตามลำดับ ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร-วัน จากนั้นศึกษาความลาดชันความเร็วที่แตกต่างกันของถังปฏิกรณ์เท่ากับ 40, 60, 80 และ 100 ต่อวินาที อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3, 2, 1, 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร-วัน ที่กำหนดให้จำนวนรอบเวลาเดินระบบ (cycle number) ที่ 1-4 รอบ ซึ่งในแต่ละรอบเวลาเดินระบบเท่ากับ 1, 3, 5 และ 7 วัน ตามลำดับ พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ ได้แก่ พีเอช อุณหภูมิ ซีโอดี ซัลเฟต ซัลไฟด์ ของแข็งแขวนลอย ก๊าซชีวภาพ และสัดส่วนก๊าซมีเทน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบผลของความลาดชันความเร็วที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียยางข้นด้วยระบบเอเอสบีอาร์

2. ทราบผลของอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียยางข้นด้วยระบบเอเอสบีอาร์

3. เพื่อเป็นทางเลือกในการบำบัดน้ำเสียยางข้นโดยได้ก๊าซชีวภาพเป็นผลพลอยได้ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนได้

4. เป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยต่อยอดเพิ่มเติมนำไปสู่การประยุกต์ใช้ระบบเอเอสบีอาร์ในการบำบัดน้ำเสียและการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียยางข้นที่มีประสิทธิภาพต่อไปในอนาคต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การบำบัดน้ำเสีย (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2545)

ปัญหาน้ำเสียเกิดขึ้นพร้อมๆ กับการเจริญเติบโตของชุมชน เนื่องจากน้ำเสียเกิดขึ้นจากการใช้น้ำ เพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ ในสมัยก่อนปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นมีจำนวนไม่มากเมื่อระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ ธรรมชาติจะสามารถทำความสะอาดน้ำเสียได้ทัน อย่างไรก็ตามเมื่อมีการขยายตัวของชุมชน และมีการพัฒนาอุตสาหกรรมมากขึ้น น้ำเสียก็มีปริมาณเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่การทำความสะอาดน้ำเสียเกิดขึ้นตามวิธีการทางธรรมชาติไม่ได้ผล การเน่าเหม็นของน้ำเสียก็ปรากฏขึ้น ทำให้จำเป็นต้องมีการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีต่างๆ

2.1.1 ความหมายของน้ำเสีย

น้ำเสีย หมายถึง น้ำที่มีสิ่งเจือปนต่างๆ ในปริมาณสูง จนกระทั่งกลายเป็นน้ำที่ไม่เป็นที่ต้องการ และเป็นที่น่ารังเกียจของคนทั่วไป น้ำเสียก่อให้เกิดปัญหาต่างๆ แก่ลำน้ำซึ่งเป็นที่รองรับ เช่น ทำให้เกิดการเน่าเหม็นหรือเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต เป็นต้น

สิ่งเจือปนต่างๆ ที่ทำให้เกิดน้ำเสีย ได้แก่ สารอินทรีย์ต่างๆ กรด ด่าง ของแข็งหรือสารแขวนลอย และสิ่งที่ลอยปนอยู่ในน้ำ เช่น น้ำมัน ไขมัน เกลือ และแร่ธาตุที่เป็นพิษ เช่น โลหะหนัก สารที่ทำให้เกิดฟอง ความร้อน สารพิษ เช่น ยาฆ่าแมลง สี กลิ่น และสารกัมมันตรังสี เป็นต้น

2.1.2 กระบวนการบำบัดน้ำเสีย

กระบวนการบำบัดน้ำเสียสามารแบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 3 ประเภท คือ

1. การบำบัดทางกายภาพ (physical treatment) เป็นวิธีการแยกเอาสิ่งเจือปนออกจากน้ำเสีย เช่น ของแข็งขนาดใหญ่ กระดาษ พลาสติก เศษอาหาร กรวด ทราย ไขมันและน้ำมัน โดยใช้อุปกรณ์ในการบำบัดทางกายภาพ คือ ตะแกรงดักขยะ ถังดักกรวดทราย ถังดักไขมันและน้ำมัน และถังตกตะกอน ซึ่งจะเป็นการลดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่มีในน้ำสียเป็นหลัก

2. การบำบัดทางเคมี (chemical treatment) เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยใช้กระบวนการทางเคมีเพื่อทำปฏิกิริยากับสิ่งเจือปนในน้ำเสีย วิธีการนี้จะใช้สำหรับน้ำเสียที่มีส่วนประกอบอย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้ คือ ค่า pH สูงหรือต่ำเกินไป มีสารพิษ มีโลหะหนัก มีของแข็งแขวนลอยที่ตกตะกอนยาก มีไขมันและน้ำมันที่ละลายน้ำ มีไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัสที่สูงเกินไป และ

มีเชื้อโรค ทั้งนี้อุปกรณ์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมี ได้แก่ ถังกวนเร็ว ถังกวนช้า ถังตกตะกอน ถังกรอง และถังฆ่าเชื้อโรค

3. การบำบัดทางชีวภาพ (biological treatment) เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยใช้กระบวนการทางชีวภาพหรือใช้จุลินทรีย์ในการกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำเสียโดยเฉพาะสารคาร์บอนอินทรีย์ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส โดยความสกปรกเหล่านี้จะถูกใช้เป็นอาหารและเป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ในถังเลี้ยงเชื้อเพื่อการเจริญเติบโต ทำให้น้ำเสียมีค่าความสกปรกลดลง โดยจุลินทรีย์เหล่านี้อาจเป็นแบบใช้ออกซิเจน (aerobic organisms) หรือไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic organisms) ก็ได้

2.2 กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ปัจจุบันประเทศไทยมีการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียในสองรูปแบบ โดยในรูปแบบแรกของการออกแบบจะเป็นเทคโนโลยีที่ต้องการพึ่งพาพลังงานในการเติมอากาศลงสู่ถังปฏิกรณ์อย่างมาก แต่ขณะเดียวกันใช้พื้นที่ในการก่อสร้างค่อนข้างน้อย อย่างไรก็ตามผลของการเติมอากาศทำให้ความต้องการไฟฟ้าอยู่ในปริมาณสูง จากปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ยังมีอัตราการผลิตมวลชีภาพที่ต่ำกว่า และในประเด็นเป็นเทคโนโลยีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

2.2.1 จุลินทรีย์ในกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน

การย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ในกระบวนการไม่ใช้ออกซิเจนมีลักษณะแตกต่างจากกระบวนการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน คือกระบวนการแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะไม่มีออกซิเจนอิสระ ซึ่งเป็นตัวรับอิเล็กตรอนมาเกี่ยวข้อง โดยปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซอื่นๆ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นขั้นตอนที่ซับซ้อน โดยแบคทีเรีย 2 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่

2.2.1.1 แบคทีเรียชนิดสร้างกรด (acid-producing bacteria)

แบคทีเรียชนิดนี้มี 2 ชนิด คือแบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจน (obligate anaerobes) และแบคทีเรียที่อยู่ในสภาพที่มีและไม่มีออกซิเจน (facultative anaerobes) โดยแบคทีเรียในกลุ่มนี้จะผลิตไฮโดรเจนจากกรดอินทรีย์ขนาดใหญ่ และทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมระหว่างแบคทีเรียที่สร้างมีเทนและแบคทีเรียสร้างกรดแบบธรรมดา

2.2.1.2 แบคทีเรียชนิดสร้างก๊าซมีเทน (methane-producing bacteria)

แบคทีเรียที่สร้างมีเทนจะเจริญเติบโตได้ช้าและยังเป็นเซลล์ที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงมาก โดยแบคทีเรียที่สร้างมีเทนแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ แบคทีเรียที่สร้างมีเทนจากคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน (hydrogenotrophic bacteria) ซึ่งได้คาร์บอนมาจากคาร์บอนไดออกไซด์และพลังงานจากไฮโดรเจน

$$4H_2 + CO_2 \longrightarrow CH_4 + 2H_2O + 32.4\ Kcal$$

แบคทีเรียชนิดนี้สามารถสร้างใช้กรดฟอร์มิกเป็นสารอาหารได้เนื่องจากกรดฟอร์มิก สามารถเปลี่ยนเป็นไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ได้ง่าย ดังสมการ

$$HCOOH \longrightarrow CO_2 + H_2$$

แบคทีเรียชนิดที่สอง จะสร้างมีเทนจากกรดอะซิติกโดยใช้อะซิเตทเป็นตัวรับอิเล็คตรอนตัวสุดท้าย และใช้ไฮโดรเจนเป็นแหล่งพลังงาน (acetoclastic methanogen) โดยการสร้างมีเทนดังสมการ

$$CH_3COOH + 4H_2 \longrightarrow CH_4 + 2H_2O + 39.1\ Kcal$$

นอกจากการสร้างมีเทนจากการออกซิเดชันของไฮโดรเจนแล้ว มีเทนส่วนใหญ่ยังสร้างจากการแตกตัวของกรดอะซิติก ดังสมการ

$$CH_3COOH \longrightarrow CH_4 + CO_2 + 6.71\ Kcal$$

2.2.2 เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (microbial granules)

2.2.2.1 ประเภทของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

จากการที่แบคทีเรียในถังหมักยูเอเอสบีแบ่งเป็น 2 ชั้น คือชั้นบนแบคทีเรียมีลักษณะเป็นตะกอนเบา ส่วนชั้นล่างมีลักษณะเป็นเม็ดซึ่งเกิดจากแบคทีเรียเกาะติดกันแน่นจึงมีความหนาแน่นของจำนวนเซลล์แบคทีเรียต่อปริมาตร ในชั้นล่างนี้สูงกว่าในชั้นบนที่มีลักษณะเป็นตะกอนเบามาก ดังนั้นสารอินทรีย์ส่วนใหญ่จึงถูกย่อยสลายและเปลี่ยนเป็นมีเทนในชั้นของตะกอนเม็ดเป็นส่วนใหญ่ ประสิทธิภาพของระบบบำบัดจึงขึ้นกับปริมาณและลักษณะสมบัติของแบคทีเรียชนิดเม็ด

ลักษณะของเม็ดตะกอนที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนขึ้นอยู่กับชนิดของตะกอนหัวเชื้อส่วนประกอบของน้ำเสีย สิ่งแวดล้อมในระบบและการเริ่มต้นเดินระบบ โดยเม็ดตะกอนอาจมีหลายชนิดดังนี้

1) Sarcina Granules เป็นเม็ดตะกอนที่มีรูปร่างกลมเกาะกันเป็นกลุ่ม เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ชนิดนี้ส่วนใหญ่ประกอบด้วย methanosarcina เกิดขึ้นเมื่อระบบรับปริมาณสารอินทรีย์สูงมากไป (over loading) เป็นเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่มีขนาดเล็ก จึงถูกล้างออกจากระบบได้ง่าย และยังมีความสามารถในการผลิตทีเทนต่ำมาก

2) Rod-type granules เป็นเม็ดตะกอนที่ประกอบด้วยแบคทีเรียที่มีลักษณะเป็นท่อนสั้นๆ เป็นส่วนใหญ่ โดยมีขนาดประมาณ 3 มิลลิเมตร และมีของแข็งระเหยสูงถึงร้อยละ 90 ซึ่งตรวจพบในถังยูเอเอสบีที่รับน้ำเสียบางประเภท เช่น โรงงานน้ำตาล โรงงานแป้งมัน เป็นต้น แบคทีเรียพวกนี้จัดเป็นพวก methanothrix sochngenii

3) Filamentous Granules เป็นเม็ดตะกอนซึ่งประกอบด้วยแบคทีเรียที่มีเส้นยาว (filamentous bacteria) เป็นส่วนใหญ่ เม็ดแบคทีเรียนี้มีขนาดใหญ่ถึง 5 มิลลิเมตร ภายในมักเป็นพวก inert carrier material จึงมีค่าของแข็งระเหยต่ำกว่าเม็ดตะกอนสองพวกแรก

4) Spinky Granules ในกรณีที่น้ำเสียมีสารแคลเซียมสูง เม็ดแบคทีเรียในระบบจะมีลักษณะเป็นหนามแหลม เม็ดแบคทีเรียนี้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 มิลลิเมตร และหนา 0.5 มิลลิเมตร แบคทีเรียส่วนใหญ่เป็นพวกเส้นใยยาว เม็ดตะกอนประเภทนี้มี activity ค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากประกอบด้วย $CaCO_3$ ที่จะพอกบนผิวเม็ดแบคทีเรีย

2.2.2.2 โครงสร้างของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

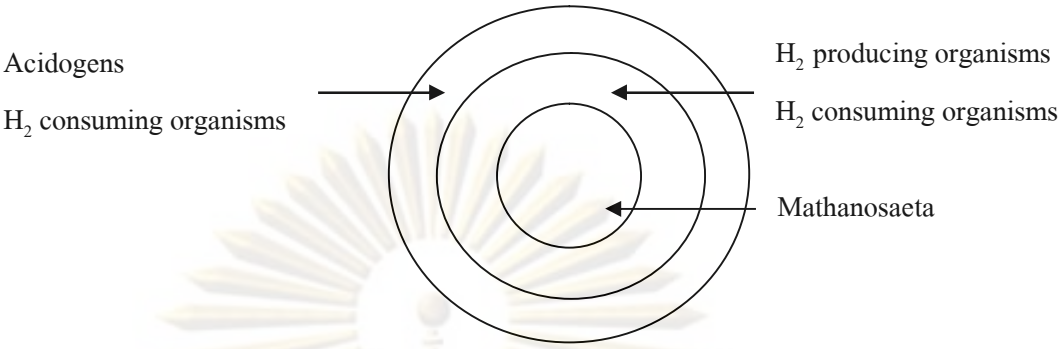
จากที่มีการศึกษาโครงสร้างของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียยูเอเอสบี โดย McLeod, Guiot, และ Costerton, (1990) พบว่ามีโครงสร้างภายในเม็ดตะกอนแบ่งออกเป็น 3 ชั้น ดังนี้

1) โครงสร้างชั้นนอก ประกอบด้วยแบคทีเรียจำพวก Acidogens . H_2 consuming organisms

2) โครงสร้างชั้นกลาง ประกอบด้วยแบคทีเรียจำพวก H_2 producing organisms และ H_2 consuming organisms

3) โครงสร้างชั้นใน ประกอบด้วยแบคทีเรียประเภท Acetoclastic ซึ่งส่วนใหญ่เป็น Mathanosaeta

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 1.1 โครงสร้างทั่วไปของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (McLeod, Guiot, และ Costerton, 1990)

โครงสร้างและขนาดของชั้นในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แต่ละชั้นขึ้นอยู่กับอัตราการย่อยสลายสารอาหาร และการแพร่กระจายของสารที่เป็นผลผลิตของปฏิกิริยาในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ตัวอย่างเช่น ในน้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรตจะพบจุลินทรีย์กลุ่ม Acidogenics ที่บริเวณผิวนอกสุดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ทั้งนี้เพราะนอกจากการที่สารอาหารมีค่าความเข้มข้นสูงบริเวณรอบนอกเม็ดตะกอนแล้ว ยังมีสาเหตุมาจาก อัตราการเกิดปฏิกิริยา Acidogenesis ที่บริเวณรอบนอกของเม็ดตะกอนมีค่าสูงกว่าปฏิกิริยา Acidogenesis และปฏิกิริยา Mathanogenesis ด้วยเช่นกัน อะซิเตทที่ถูกผลิตขึ้นมาจะแพร่ไปยังโครงสร้างชั้นกลาง และชั้นในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ต่อไป

2.2.3 กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน

กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน (Mechanism of Anaerobic Digestion) โดยมีกลไกของปฏิกิริยา (Steps of Reaction) ที่สำคัญด้วยกัน 4 ขั้นตอนและการทำงานของกลุ่มแบคทีเรียที่ทำหน้าที่ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียมีดังนี้คือ

2.2.3.1 กระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

กระบวนการไฮโดรไลซิสเป็นกระบวนการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ให้กลายเป็นสารประกอบโมเลกุลเล็ก เช่น น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว กรดอะมิโน กรดไขมัน โดยในขั้นตอนนี้กลุ่มแบคทีเรียที่เรียกว่า Hydrolytic Bacteria จะปล่อยเอนไซม์ที่ผลิตจากภายในเซลล์ออกสู่ภายนอกเซลล์เพื่อทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงๆ ให้เปลี่ยนไปอยู่ในรูปของสารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เช่น เอนไซม์อะไมเลสในการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตให้กลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เอนไซม์ไลเปส

ในการย่อยสลายไขมันให้กลายเป็นกรดไขมัน เป็นต้น ทั้งนี้ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นพบว่าการไฮโดรไลซ์สารอินทรีย์ประเภทไขมันให้เปลี่ยนไปเป็นกรดไขมันและกลีเซอรีนนั้นใช้ระยะเวลานานที่สุด โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นสามารถเขียนสมการได้ดังนี้คือ

Polysaccharides + Amylase ⟶ Monosaccharides

Proteins + Protease ⟶ Peptides + Amino Acid

Fats + Lipase ⟶ Fatty Acids + Glycerines

2.2.3.2 กระบวนการสร้างกรด (Acidogenesis)

ผลผลิตจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส เช่น น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว กรดอะมิโน กรดไขมัน จะถูกกลุ่มแบคทีเรียที่เรียกว่า Fermentative Acidogenic Bacteria ดูดซึมเข้าสู่ภายในเซลล์เพื่อไปใช้เป็นอาหารและนำไปใช้ในการผลิตกรดไขมันระเหยง่าย (volatile fatty acids : VFAs) เช่น กรดโพรไพโอนิก กรดอะเซติก กรดบิวไทริก เป็นต้น ซึ่งเป็นกรดอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำและมีคาร์บอนอะตอมไม่เกิน 2 ตัว นอกจากนี้แล้วแบคทีเรียจะผลิตไฮโดรเจนกับคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาด้วย ปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 ประการคือ ชนิดของสับสเตรต (substrate) ที่ถูกดูดซึมเข้าสู่ภายในเซลล์ของแบคทีเรียและความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจน (hydrogen partial pressure) เช่น กรดไขมันชนิดยาวถูกย่อยสลายกลายเป็นกรดอะซิติกและไฮโดรเจน ภายใต้สภาวะที่มีความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าต่ำแต่ในสภาวะที่มีความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนสูงจะถูกย่อยสลายเป็นกรดบิวไทริกและกรดโพรไพโอนิก เป็นต้น โดยปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นในกระบวนการนี้สามารถเขียนสมการได้ดังนี้คือ

$$C_6H_{12}O_6 + 2H_2O \longrightarrow 2CH_3COOH + 2CO_2 + 4H_2$$

2.2.3.3 กระบวนการสร้างกรดอะเซติกจากกรดไขมันระเหย (Acetogenesis)

ในขั้นตอนนี้กลุ่มแบคทีเรียที่เรียกว่า Acetogenic Bacteria มีบทบาทที่สำคัญในการเป็นตัวเชื่อมระหว่างขั้นตอนในกระบวนการสร้างกรดและกระบวนการสร้างมีเทน ซึ่งแบคทีเรียในกลุ่มนี้จะทำการย่อยสลายกรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนอะตอมมากกว่า 2 อะตอม เช่น กรดโพรไพโอนิก กรดบิวไทริก ให้กลายเป็นกรดอะเซติก ไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ทั้งนี้เนื่องจากในการผลิตมีเทนโดยแบคทีเรียสร้างมีเทนนั้นมีความต้องการสับสเตรต (substrate) ที่เฉพาะเจาะจงมาก ได้แก่ กรดอะซิติก และไฮโดรเจนในการสร้างมีเทน ซึ่งในกระบวนการนี้จะเกิดการย่อยสลายกรดไขมันระเหยให้กลายเป็นกรดอะซิติกขึ้นได้ในสภาวะ

ที่ความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าต่ำเท่านั้น โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นสามารถเขียนสมการได้ดังนี้คือ

$$CH_3CH_2COOH + 2H_2O \longrightarrow CH_3COOH + CO_2 + 3H_2$$

$$CH_3CH_2CH_2COOH + 2H_2O \longrightarrow 2CH_3COOH + 2H_2$$

2.2.3.4 กระบวนการสร้างมีเทน (Methanogenesis)

ในกระบวนการนี้แบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนที่เรียกว่า Methanogenesis Bacteria จะใช้กรดอะซิติกและไฮโดรเจน สร้างก๊าซมีเทน ซึ่งนอกจากกรดอะซิติกและไฮโดรเจนแล้วแบคทีเรียอาจใช้สับสเตรต (substrate) อย่างง่ายบางชนิดในการสร้างก๊าซมีเทน เช่น กรดฟอร์มิก เมทธานอลได้เช่นกัน โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นสามารถเขียนสมการได้ดังนี้คือ

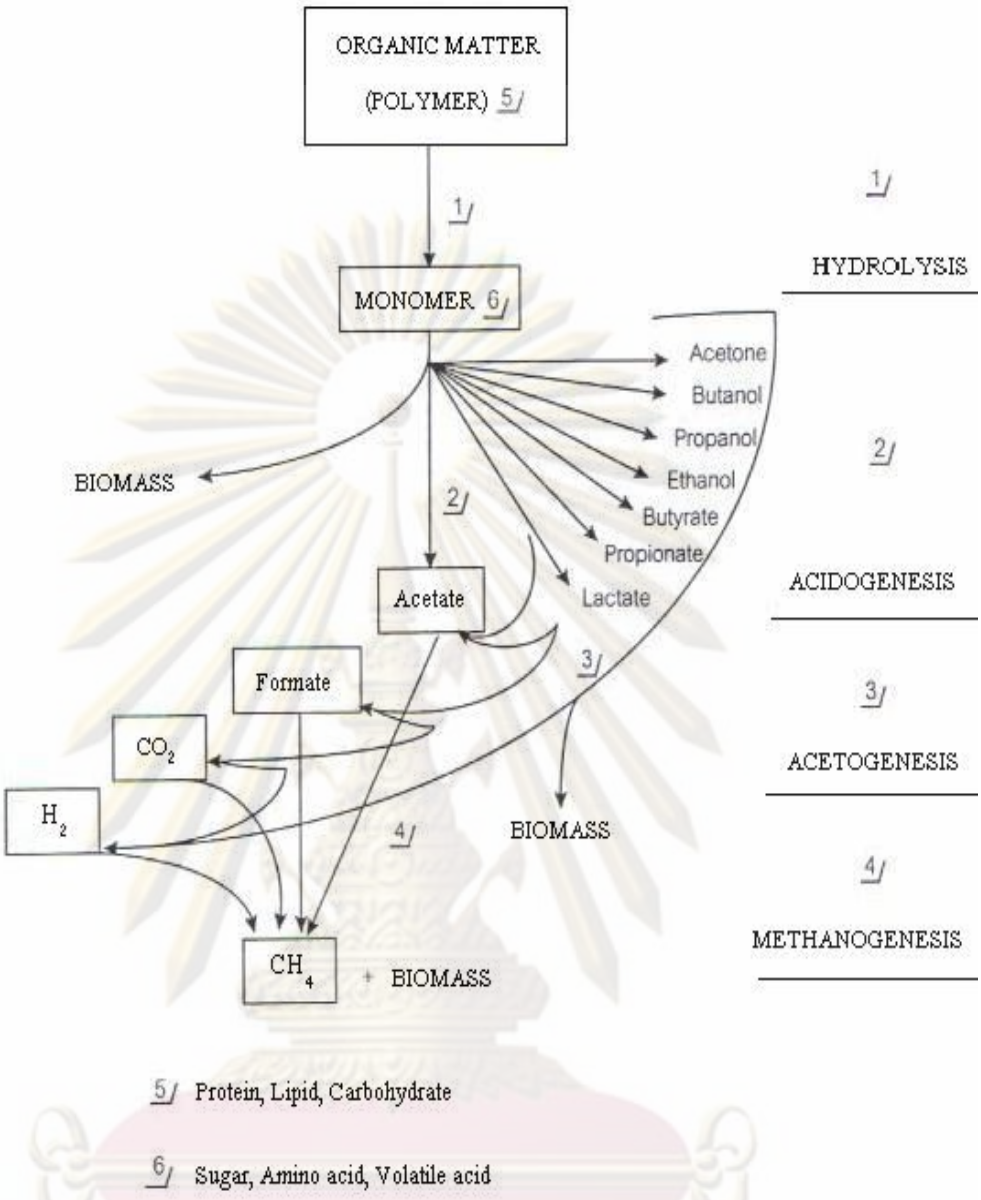
$$CH_3COOH + 2H_2O \longrightarrow CH_4 + H_2CO_3$$

$$4H_2 + H_2CO_3 \longrightarrow CH_4 + 3H_2O$$

$$4HCOOH \longrightarrow CH_4 + 3CO_2 + 2H_2O$$

ทั้งนี้ก๊าซที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนจะมีองค์ประกอบของก๊าซมีเทน ประมาณร้อยละ 55-70 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 30-40 (Bitton, 1997) และที่เหลือเล็กน้อยได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ เป็นต้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 2.2 ขั้นตอนในการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน (Wheatley, 1997)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน

เนื่องจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศจะประกอบด้วยจุลินทรีย์หลายกลุ่มทำงานร่วมกัน จุลินทรีย์แต่ละกลุ่มจะมีความแตกต่างกันไปในการดำรงชีวิตและมีความต้องการสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันในการเจริญเติบโต การย่อยสลายสารอินทรีย์ รวมทั้งการผลิตก๊าซมีเทน สภาวะแวดล้อมต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียมีดังนี้

2.2.4.1 อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีอิทธิอย่างมากต่อการดำรงชีวิตของแบคทีเรียในระบบบำบัดน้ำเสีย โดยแบคทีเรียแต่ละกลุ่มในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะมีความต้องการระดับอุณหภูมิที่แตกต่างกัน โดยสามารถจำแนกแบคทีเรียได้ดังนี้

Psychrophilic range	มีช่วงอุณหภูมิ 5-15 องศาเซลเซียส
Mesophilic range	มีช่วงอุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส
Thermophilic range	มีช่วงอุณหภูมิ 50-55 องศาเซลเซียส

โดยทั่วไปแล้วจุลินทรีย์ในกลุ่ม Mesophilic bacteria จะใช้มากในระบบบำบัดน้ำเสียในประเทศไทย เนื่องจากอุณหภูมิน้ำเสียเฉลี่ยในธรรมชาติในสภาวะปกติประมาณ 25-30 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิในถังปฏิกิริยาของระบบบำบัดน้ำเสียจะสูงกว่าอุณหภูมิปกติประมาณ 3-5 องศาเซลเซียส หรือประมาณ 35-37 องศาเซลเซียส ซึ่งเหมาะสมสำหรับกับ Mesophilic bacteria โดยไม่มีความจำเป็นต้องมีการควบคุมอุณหภูมิของถังปฏิกิริยาหรือระบบบำบัดน้ำเสีย ส่วนน้ำเสียที่มีอุณหภูมิสูงหรือต้องการควบคุมอุณหภูมิของน้ำเสียให้สูงอาจจะต้องเลือก Thermophilic bacteria ที่สามารถควบคุมอุณภูมิอยู่ในช่วง 50-55 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เพื่อต้องการเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย โดยส่วนใหญ่ประสิทธิภาพการบำบัดที่ 55 องศาเซลเซียสจะสูงขึ้น 1 เท่าตัวเมื่อเทียบกับอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส แต่การจะเลือกระบบบำบัดน้ำเสียที่อุณหภูมิในช่วงใดนั้น ควรพิจารณาความเหมาะสมในหลายๆ ด้าน สิ่งที่ต้องคำนึงถึงอย่างหนึ่งก็คือ ปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นในถังปฏิกิริยาของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศจะเป็นปฏิกิริยาคลายความร้อน ดังนั้นอุณหภูมิในถังปฏิกิริยาจะสูงขึ้นด้วย (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2549)

2.2.4.2 pH

แบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศมีหลายกลุ่ม แต่ที่สำคัญก็คือ กลุ่มสร้างกรด และกลุ่มสร้างมีเทน แบคทีเรียใน 2 กลุ่มนี้จะมีความต้องการ pH ในการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน กล่าวคือแบคทีเรียในกลุ่มสร้างกรดจะเจริญเติบโตได้ดีในสภาวะน้ำเสียที่มี pH ต่ำ และสามารถทนต่อ pH ได้ถึง 4.5 ในขณะที่แบคทีเรียในกลุ่มสร้างก๊าซมีเทนจะเจริญเติบโตได้ในสภาวะที่เป็นกลาง-ด่างเล็กน้อย หาก pH มีค่าต่ำกว่า 5 จะส่งผลต่อ methanogenic

bacteria อย่างรุนแรง ดังนั้นในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนอาจจะต้องมีการควบคุม pH ให้เหมาะสมสำหรับแบคทีเรียทั้งสองกลุ่มให้เจริญเติบโตได้ดี คือ อยู่ในช่วง 6.5-7.8 ถึงแม้ว่าไม่สามารถควบคุมให้จุลินทรีย์แต่ละกลุ่มสามารถเจริญเติบโตได้เต็มที่และแสดงประสิทธิภาพได้ร้อยเปอร์เซ็นต์ก็ตาม แต่เป็นการทำให้จุลินทรีย์ทั้งสองกลุ่มสามารถเจริญเติบโตอยู่ได้และแสดงกิจกรรมร่วมกันในการบำบัดสารอินทรีย์เพื่อให้ได้ก๊าซมีเทน (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2549)

2.2.4.3 สภาพด่าง (alkalinity)

Alkalinity เป็นความสามารถของจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนในการทนการเปลี่ยนแปลงของ pH ของน้ำเสียเมื่อมีปริมาณกรดในน้ำเสียเพิ่มขึ้น (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2549) ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน สภาพด่างทั้งหมดจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อย สภาพความเป็นด่างที่มีความสำคัญคือ สภาพด่างไบคาร์บอเนต เพราะจะทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์เมื่อมีกรดไขมันระเหยเกิดขึ้นในระบบเพียงเล็กน้อย ก็ส่งผลให้ pH ลดลงได้มากและรวดเร็ว ซึ่งเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียในกลุ่มที่สร้างมีเทน ปัจจัยที่สำคัญกว่าสภาพความเป็นด่างคือ อัตราส่วนความเข้มข้นของกรดไขมันระเหย (มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปกรดอะซิติก) ต่อระดับสภาพความเป็นด่างไบคาร์บอเนต (มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต) อัตราส่วนนี้น้อยกว่า 0.4 ระบบบำบัดจะมีบัฟเฟอร์สูง ค่าที่เพิ่มขึ้นของอัตราส่วนนี้เป็นสัญญาณที่บอกถึงสภาวะที่เสียสมดุลของระบบบำบัดและแสดงว่ากำลังบัฟเฟอร์ที่มีอยู่เดิมลดน้อยลงและไม่เพียงพอ แต่ถ้าอัตราส่วนนี้มีค่าสูงกว่า 0.8 แสดงว่าระบบกำลังอยู่ในขั้นที่ pH จะลดลงอย่างรวดเร็วหรือได้ลดต่ำลง ถ้ามีกรดไขมันระเหยมีการเพิ่มเพียงเล็กน้อย ด้วยเหตุนี้ระหว่างการควบคุมระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศจำเป็นที่จะต้องดูอัตราส่วนนี้ (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2545)

2.2.4.4 กรดไขมันระเหยง่าย (volatile fatty acid : VFA)

กรดไขมันระเหยง่ายเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญของแบคทีเรียในกลุ่มสร้างมีเทนในการผลิตก๊าซมีเทนที่ถูกสร้างหรือสังเคราะห์ขึ้นจากกรดอินทรีย์ที่ได้จากกิจกรรมของแบคทีเรียกลุ่มสร้างกรด ดังนั้นอัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียทั้งกลุ่มสร้างกรดและแบคทีเรียสร้างมีเทนจะต้องมีความสัมพันธ์กัน ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายสร้างขึ้นโดยแบคทีเรียในกลุ่มสร้างกรดและมีการสะสมในน้ำเสียมากขึ้น ซึ่งจะมีผลทำให้ pH ของน้ำเสียลดลง ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในกลุ่มสร้างมีเทน แต่อย่างไรก็ตามกรดไขมันระเหยง่ายที่ถูกสร้างขึ้นโดยแบคทีเรียกลุ่มสร้างกรดก็เป็นอาหารสำหรับแบคทีเรียในกลุ่มสร้างมีเทนด้วย (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2549) ดังนั้นปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายที่ถูกสร้างขึ้นและสะสม

ในน้ำเสียมากขึ้นจึงต้องอยู่ในค่าความเข้มข้นที่เหมาะสม โดยมีค่าประมาณ 50-500 มิลลิกรัมต่อลิตร ในรูปกรดอะซิติก (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2545)

2.2.4.5 ธาตุอาหารเสริม (nutrients)

ธาตุอาหารเสริมที่สำคัญของแบคทีเรียในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะเหมือนกับจุลินทรีย์ทั่วไป ไม่ว่าจะเป็นจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจนอิสระหรือไม่ก็ตาม อาหารเสริมที่มีความสำคัญ คือ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส โดยมีอัตราส่วนอาหารเสริมของน้ำเสียในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนดังนี้ ซีโอดี : ไนโตรเจน : ฟอสฟอรัส เท่ากับ 100 : 2.2 : 0.4 หากอาหารเสริมไม่เพียงพอจะมีผลให้การเจริญเติบโตของแบคทีเรียในระบบบำบัดน้ำเสียไม่สมบูรณ์ นอกจากอาหารเสริมหลักที่สำคัญเหล่านี้แล้วยังมีธาตุอื่นๆ อีก เช่น Ca Mg Mo Co และ Fe แต่มีความต้องการในปริมาณต่ำมาก ซึ่งโดยทั่วไปจะมีการปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียในปริมาณเพียงพออยู่แล้ว ไม่จำเป็นต้องเติมเพิ่มอีก (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2549)

2.2.4.6 สารพิษ (toxic substances)

เนื่องจากน้ำเสียที่จะนำมาบำบัดด้วยระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพไม่ว่าจะเป็นระบบบำบัดที่ใช้หรือไม่ใช้ออกซิเจน อาจจะมีสารประกอบบางชนิดปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียที่จะเป็นอันตรายต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่สำคัญในระบบ โดยสารพิษต่างๆ จะส่งผลต่อแบคทีเรีย เช่น สารประกอบของโลหะ ได้แก่ โซเดียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม เป็นต้น อีกทั้งความเข้มข้นของสารพิษก็ยังเป็นอีกสาเหตุหนึ่งในการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในระบบบำบัดน้ำเสีย รวมทั้งยังมีผลต่อกิจกรรมในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียอีกด้วย โดยถ้าความเข้มข้นของสารพิษสูงเกินไปก็จะเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียในระบบ ตัวอย่างสารพิษที่พบในน้ำเสียที่มีผลต่อแบคทีเรียและประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย ดังในตาราง 2.1 สารพิษบางชนิดอาจจะมีการสะสมถังปฏิกิริยาจนมีปริมาณมากพอที่จะส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียได้ หรือบางชนิดมีการปนเปื้อนในน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดในปริมาณสูงมากก็จะส่งผลต่อแบคทีเรียในระบบทันที

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 ระดับความเข้มข้นของสารพิษชนิดต่างๆ ที่มีผลต่อแบคทีเรียในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2549)

สารพิษ	ความเข้มข้นสูงสุดที่จะไม่เป็นอันตรายต่อระบบ (mg/l)	สารพิษ	ความเข้มข้นสูงสุดที่จะไม่เป็นอันตรายต่อระบบ (mg/l)
Cu	1.0	Na^{+}	3,500
Zn	5.0	K^{+}	2,500
Cr^{+6}	5.0	Ca^{+2}	2,500
Chloride	15,000	Mg^{+2}	1,000
Cr^{+3}	2,000	Averylonitrite	5.0
Total chromium	5.0	Benzene	50
Ni	2.0	CCl_4	10
Cd	0.02	Chloroform	0.1
S^{-2}	100	Pentachlorophenol	0.4
SO_4^{-2}	500	Cyanide	1.0
Ammonia	1,500		

2.3 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน

กระบวนการไม่ใช้ออกซิเจนอาจใช้ในการบำบัดน้ำเสียโดยสามารถเลือกประยุกต์ใช้ตามวัตถุประสงค์ ลักษณะของน้ำเสีย งบประมาณ และความชำนาญการของผู้ใช้ แต่กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนมักมีลักษณะสำคัญร่วมกันคือ สามารถสร้างก๊าซชีวภาพจากสารอินทรีย์ ถังปฏิกรณ์ชีวภาพไม่ใช้ออกซิเจนได้มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องจากถังปฏิกรณ์ที่ใช้สำหรับหมักธรรมดาจนถึงกระบวนการที่มีอัตราสูงที่ใช้ระยะเวลาสั้นมาก ซึ่งการแบ่งชนิดอาจแบ่งตามลักษณะของน้ำเสีย เช่น น้ำเสียที่มีสารอินทรีย์อยู่ในรูปของแข็งปนอยู่มาก น้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ส่วนใหญ่ละลายอยู่ในน้ำและน้ำเสียที่มีของแข็งไม่มากนักและสารอินทรีย์ละลายน้ำ (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2548)

นอกจากนี้มีการแบ่งประเภทของกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนตามลักษณะของแบคทีเรียในระบบได้ดังนี้

- แบคทีเรียเติบโตแขวนลอยอยู่ในน้ำเสีย (suspended growth) อาศัยการกวนให้แบคทีเรียผสมกับน้ำเสียภายในถังปฏิกิริยา และจำเป็นต้องมีถังตกตะกอนเพื่อแยกน้ำที่ผ่านการบำบัด และเชื้อแบคทีเรียให้ออกจากกัน โดยหมุนเวียนเชื้อกลับเข้าสู่ถังปฏิกรณ์อีกครั้ง

- แบคทีเรียเติบโตอยู่ติดกับตัวกลาง (supported growth) เนื่องจากแบคทีเรียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ไม่สามารถตกตะกอนได้ดี และอาจหลุดออกไปกับน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว ทำให้มี

ผู้คิดค้นที่จะใช้แบคทีเรียเกาะติดกับตัวกลางและเสมือนว่าตัวกลางนั้นถูกใช้เป็นตัวกรองให้แบคทีเรียไม่หลุดออกไปกับน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว ทำให้ค่าใช้จ่ายของการสร้างถังตกตะกอนมาอยู่ที่ราคาของตัวกลางที่ให้แบคทีเรียเกาะติด

- แบบผสม (hybrid) ซึ่งเป็นการนำข้อดีมาใช้และตัดปัญหาข้อด้อยจาก 2 รูปแบบข้างต้น

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบกระบวนการบำบัดน้ำเสียไม่ใช้ออกซิเจนแบบต่างๆ

ข้อพิจารณา	ระบบเติบโตแขวนลอยในน้ำ	ระบบผสม	ระบบมีตัวกลางเกาะยึด
1. ความเข้มข้นของแบคทีเรีย	ต่ำ	สูง	สูง
2. อายุตะกอน	ต่ำ	สูง	สูง
3. การใช้บำบัดน้ำที่มีอนุภาคของแข็ง	เหมาะสม	กำจัดอนุภาคของแข็งได้บ้าง	กำจัดอนุภาคของแข็งได้บ้าง
4. การใช้บำบัดน้ำที่มีความเข้มข้นสูง	เหมาะสม	ไม่เหมาะสม	ไม่เหมาะสม
5. การใช้บำบัดน้ำที่มีความเข้มข้นต่ำ	ไม่เหมาะสม	เหมาะสม	เหมาะสม
6. ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย	จำกัด	สูง	สูง
7. ความทนต่อสารพิษและการเปลี่ยนแปลงภาวะการทำงาน	มีข้อจำกัดเนื่องจากอายุตะกอนต่ำ	มีอายุตะกอนสูงจึงมีเสถียรภาพดี	มีอายุตะกอนสูงจึงมีเสถียรภาพดี
8. สภาพทางชลศาสตร์ในถังปฏิกรณ์	ใช้เครื่องกวน	ใช้วิธีหมุนน้ำ หรือใช้ก๊าซชีวภาพมาเป่า	ใช้วิธีหมุนน้ำ หรือใช้ก๊าซชีวภาพมาเป่า
9. การใช้พลังงาน	ต่ำที่สุด	สูง ถ้ามีการหมุนเวียนน้ำ	สูง ถ้าเป็นแบบ Fluidized

2.3.1 บ่อแอนแอโรบิกหรือบ่อเหม็น

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบนี้เป็นแบบที่ง่ายที่สุด โดยมักเป็นบ่อดินขนาดใหญ่ที่มีความลึก 3-4 เมตร และไม่มีฝาปิด มีเวลากักน้ำนานหลายวัน ภายในระยะเวลาดังกล่าวน้ำเสียจะถูกย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาแบบไม่ใช้ออกซิเจน บ่อเหม็นมักมีขนาดใหญ่และใช้ที่ดินจำนวนมากในการสร้าง นอกจากนี้ยังอาจมีกลิ่นเหม็น จึงเหมาะสำหรับใช้ในชนบทหรือชานเมืองซึ่งราคาที่ดินไม่สูงนัก

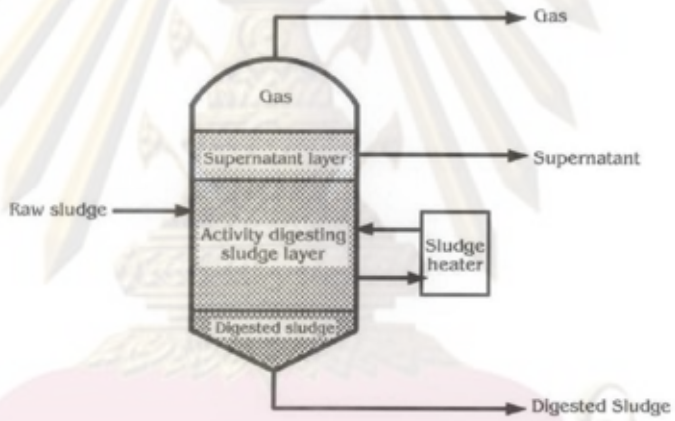
2.3.2 ถังย่อยสลัดจ์

ระบบนี้เป็นระบบที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการย่อยสลัดจ์จากระบบเอเอส ระบบประกอบด้วยถังปฏิกิริยาซึ่งส่วนใหญ่เป็นคอนกรีตมีฝาปิดเพื่อเก็บความร้อน กลิ่น และก๊าซบนฝามีทางระบายก๊าซที่เกิดขึ้น ระบบถังย่อยมี 2 แบบคือ

- ถังย่อยชนิดอัตรากำจัดต่ำ เป็นถังย่อยที่ไม่มีการกวนสลัดจ์และไม่มีการปรับอุณหภูมิ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในถังจึงช้าและไม่ทั่วถึง

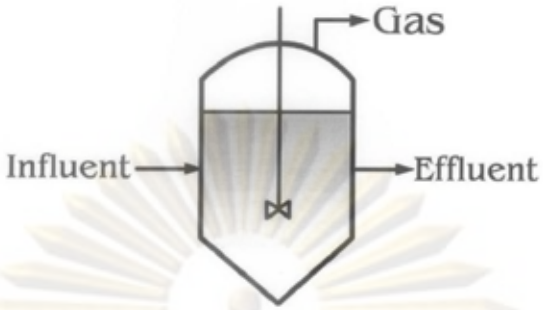
- ถังย่อยชนิดอัตรากำจัดสูง ซึ่งเป็นถังแบบที่มีการกวนและมีการปรับอุณหภูมิ ปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์จะเกิดขึ้นได้ดีกว่าแบบแรกเนื่องจากจุลินทรีย์สัมผัสกับของเสียได้อย่างทั่วถึง

ระบบถังหมักทั้ง 2 ชนิดไม่มีการนำจุลินทรีย์กลับมาใช้อีก เนื่องจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้ออกซิเจนนั้นช้ามาก

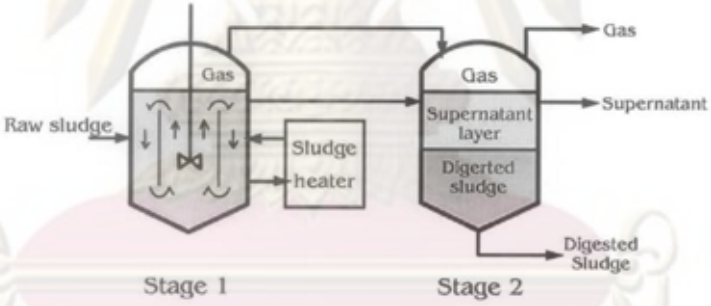


ภาพที่ 2.3 ถังย่อยชนิดอัตราต่ำ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 2.4 ถังย่อยแบบอัตราสูง (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542)

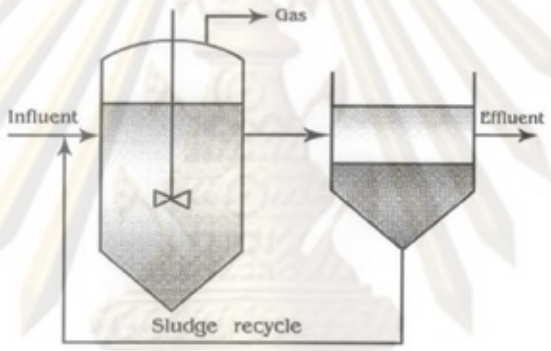


ภาพที่ 2.5 ถังย่อยแบบอัตราสูงที่มีการแยกตะกอน (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3.3 ถังย่อยแบบสัมผัส

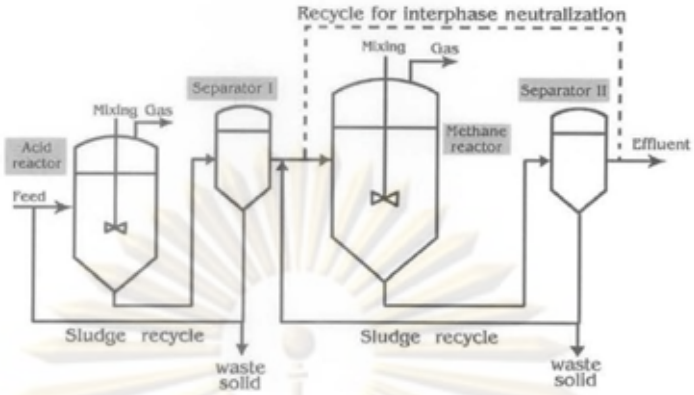
ถังย่อยแบบนี้ใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสีย สารอินทรีย์ที่ต้องการกำจัดอาจเป็นของแข็งหรือสารละลายก็ได้ ถังย่อยแบบสัมผัสนี้อาจเป็นถังปฏิกิริยาแบบมีการหมุนเวียนตะกอนหรือไม่มีก็ได้ แต่นิยมใช้แบบที่มีการหมุนเวียนตะกอน ดังนั้นถังย่อยสัมผัสจึงมีส่วนประกอบที่คล้ายคลึงกับระบบเอเอส จนกระทั่งในบางครั้งอาจเรียกถังย่อยแบบนี้ว่าเป็นระบบเอเอสแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic activated sludge) อย่างไรก็ตามระบบนี้ไม่สามารถบำบัดน้ำเสียได้ดีเหมือนกับระบบเอเอส การสะสมแบคทีเรียให้คงอยู่ในระบบไม่สามารถกระทำได้ เนื่องจากสลัดจ์ที่เกิดขึ้นไม่สามารถตกตะกอนได้ดีเหมือนสลัดจ์ของระบบเอเอส จึงมีการหลุดหนีของสลัดจ์เกิดขึ้นตลอดเวลาอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ในปัจจุบันระบบถังย่อยแบบสัมผัสมีจำนวนน้อยเนื่องจากไม่เป็นที่นิยม ระบบที่ยังคงใช้ได้จะมีความสามารถในการรับภาระสารอินทรีย์ได้ต่ำ



ภาพที่ 2.6 ระบบถังย่อยแบบสัมผัส (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542)

2.3.4 ถังย่อยแบบแยกเชื้อ

การออกแบบถังย่อยแบบแยกเชื้อ เพื่อให้แบคทีเรียสร้างกรดและแบคทีเรียสร้างมีเทนเติบโตอยู่ในถังย่อยคนละใบที่สามารถควบคุมให้มีสภาวะเหมาะสมแตกต่างกัน ลักษณะเช่นนี้เชื่อว่าแบคทีเรียแต่ละชนิดจะทำงานได้เต็มกำลังและเป็นการใช้ประโยชน์จากถังปฏิกิริยาได้อย่างเต็มที่ นอกจากนี้ยังเชื่อว่าทำให้การควบคุมการทำงานของถังย่อยมีความสะดวกยิ่งขึ้น ส่วนประกอบของถังย่อยแบบแยกเชื้อที่ใช้ pH เป็นตัวกำหนดและควบคุมแบคทีเรียในถังย่อย ถังใบแรกซึ่งมี pH ประมาณ 6 จะมีแต่แบคทีเรียประเภทสร้างกรด ส่วนถังที่สองซึ่งมี pH ประมาณ 7 จะมีแบคทีเรียสร้างมีเทน การควบคุม pH แบบอัตโนมัติเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับถังใบแรกเท่านั้น ก๊าซไฮโดรเจนที่สร้างขึ้นในถังใบแรกจะถูกปล่อยทิ้งออกไปจากถังเพื่อมิให้เกิดการสะสมตัวจนเป็นพิษต่อแบคทีเรียที่สร้างกรด

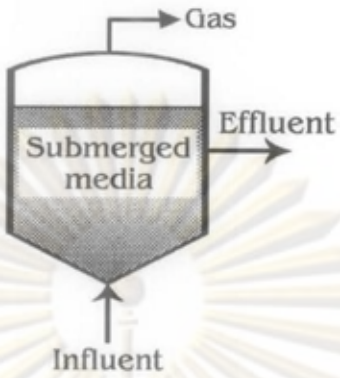


ภาพที่ 2.7 ระบบถังย่อยแบบแยกเชื้อ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542)

2.3.5 เครื่องกรองแบบไม่ใช้ออกซิเจน (AF หรือ anaerobic filter)

ลักษณะทั่วไปของเครื่องกรองแบบไม่ใช้ออกซิเจน ส่วนประกอบที่สำคัญคือถังสูงที่มีลักษณะคล้ายถังกรอง แต่บรรจุภายในด้วยหินขนาด 1.5-2 นิ้วหรืออาจใช้ตัวกลางพลาสติกแทนก็ได้ น้ำเสียจะไหลจากข้างล่างขึ้นข้างบน ลักษณะเช่นนี้จะทำให้น้ำท่วมตัวกลางอยู่ตลอดเวลา ถ้าทำให้แบคทีเรียส่วนใหญ่ถูกจับอยู่ภายในถังกรอง น้ำที่ไหลออกมาจะมีความใสโดยไม่ต้องใช้ถังตกตะกอนต่างหาก โดยปกติเครื่องกรองไม่ใช้ออกซิเจนมีขนาดเล็กกว่าถังย่อยแบบธรรมดา เพราะมีอัตราบำบัดสูงกว่าการใช้เวลากักน้ำต่ำกว่า อย่างไรก็ตามเครื่องกรองแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีจุดอ่อนบางอย่างที่ต้องแก้ไข ปัญหาที่สำคัญก็คือ ต้องหาวิธีการกระจายน้ำเสียให้ไหลเข้าถังกรองให้ได้อย่างสม่ำเสมอ เรื่องการอุดตันก็เป็นปัญหาเหมือนกัน แต่สามารถแก้ไขหรือบรรเทาลงได้โดยการกำจัดของแข็งแขวนลอยออกจากน้ำเสียก่อนส่งเข้าเครื่องกรองแบบไม่ใช้ออกซิเจน เช่น ให้มีการตกตะกอนน้ำเสียก่อนส่งเข้าระบบ ถังไม่ใช้ออกซิเจนแบบนี้มีข้อดีมากกว่าแบบอื่นๆ ที่กล่าวไปแล้ว เนื่องจากมีความสามารถในการเก็บกักเซลล์แบคทีเรียได้ดีกว่า ทำให้มีความเป็นไปได้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีบีโอดีต่ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

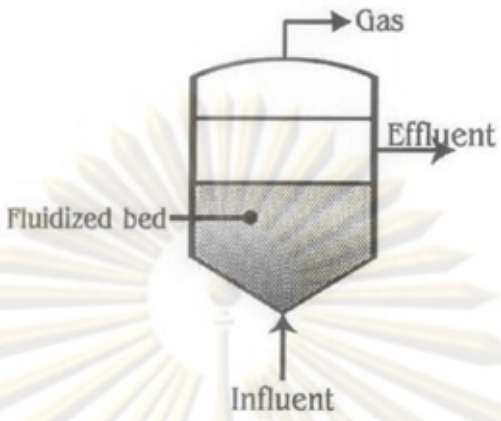


ภาพที่ 2.8 ระบบเครื่องกรองไม่ใช้ออกซิเจน (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542)

2.3.6 ระบบชั้นลอยตัวแบบไม่ใช้ออกซิเจน (AFB หรือ anaerobic fluidized bed)

ระบบแบบนี้คล้ายคลึงกับระบบเครื่องกรองแบบไม่ใช้ออกซิเจนตรงที่มีน้ำไหลจากข้างล่างขึ้นข้างบน จัดเป็นระบบฟิล์มตรึง (fixed film) แบบไม่ใช้ออกซิเจนที่มีสารตัวกลางขนาดเล็กเท่าเม็ดทรายเป็นที่จับเกาะของแบคทีเรีย อัตราการไหลของน้ำเสียจะต้องสูงมากจนกระทั่งทำให้มีการลอยตัวของสารตัวกลาง ตัวอย่างสารตัวกลางที่มีการทดลองใช้ในระดับห้องปฏิบัติการ ได้แก่ ทราย แอนทราไซต์ ถ่านกัมมันต์ เป็นต้น การใช้สารตัวกลางขนาดเล็ก (เมื่อเปรียบเทียบกับระบบเครื่องกรองแบบไม่ใช้ออกซิเจน) ทำให้ระบบนี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะ (คิดต่อหน่วยปริมาตร) สูงมาก ซึ่งเท่ากับการมีแบคทีเรียจำนวนมหาศาลอยู่ในระบบ อัตราเร็วในการบำบัดน้ำเสียของระบบนี้จึงสูงมาก ถังปฏิกิริยาที่ใช้ในระบบจึงอาจมีขนาดเล็กกว่าระบบอื่นๆ อย่างไรก็ตามลักษณะการทำงานซึ่งต้องทำให้สารตัวกลางลอยตัวตลอดเวลาก่อให้เกิดปัญหาในการออกแบบและควบคุมระบบหลายอย่าง และต้องสิ้นเปลืองพลังงานในการทำให้สารตัวกลางลอยตัวสูงกว่าระบบอื่น ระบบเช่นนี้จึงยังไม่ได้รับความนิยม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



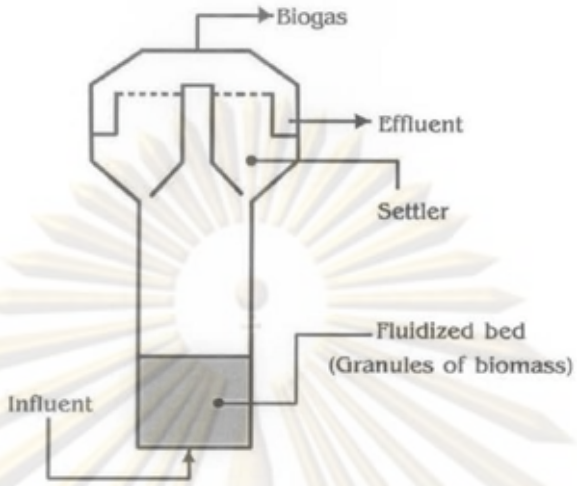
ภาพที่ 2.9 ระบบชั้นลอยตัวแบบไม่ใช้ออกซิเจน (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542)

2.3.7 ระบบยูเอเอสบี (UASB หรือ anaerobic sludge blanket)

การที่ต้องมีสารตัวกลางอยู่ในเครื่องกรองไม่ใช้ออกซิเจนและระบบ AFB ทำให้ถังปฏิกิริยาต้องเสียปริมาตรใช้งานและเสียเงินซื้อสารตัวกลางเป็นจำนวนมาก จึงมีผู้คิดค้นระบบยูเอเอสบี ซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้สารตัวกลาง ระบบใหม่นี้มีทิศทางไหลของน้ำเสียจากด้านล่างขึ้นด้านบนโดยไม่ใช้ตัวกลาง แต่แบคทีเรียจะถูกเลี้ยงให้จับตัวกันเป็นเม็ดขนาดใหญ่ จนกระทั่งมีน้ำหนักมากและสามารถตกตะกอนได้ดี เม็ดสลัดจ์ขนาดใหญ่จะจมตัวอยู่ข้างล่าง ส่วนเม็ดขนาดเล็กจะอยู่ข้างบน เม็ดเล็กที่สุดจะลอยตัวอยู่เป็นชั้นสลัดจ์ เม็ดบางส่วนอาจหลุดขึ้นถึงตอนบนของถัง แต่ตอนบนของระบบยูเอเอสบีมีอุปกรณ์ที่คล้ายถังตกตะกอนมีหน้าที่แยกเม็ดตะกอนขนาดเล็กและก๊าซชีวภาพออกจากน้ำเรียกว่า GSS (gas solids separator) หรือระบบแยกก๊าซและของแข็งแขวนลอยออกจากน้ำ ก๊าซจะถูกเก็บรวบรวมไปใช้และเม็ดตะกอนถูกส่งกลับลงไปในถัง

ข้อบกพร่องของระบบนี้คือ การสร้างสลัดจ์เป็นเรื่องยาก และอาจถือว่าเป็นเรื่องผิดธรรมชาติของแบคทีเรียไม่ใช้ออกซิเจนที่จะมีการจับกันเป็นกลุ่มก้อน ระบบนี้สามารถรับภาระสารอินทรีย์ได้สูงกว่าระบบอื่นๆ และสามารถผลิตน้ำทิ้งคุณภาพสูงได้ เนื่องจากสามารถป้องกันมิให้แบคทีเรียหลุดออกจากระบบได้ดีกว่าระบบอื่น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

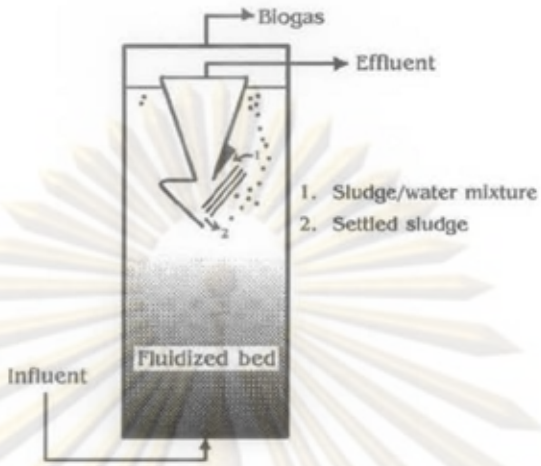


ภาพที่ 2.10 ระบบยูเอเอสบี (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542)

2.3.8 ระบบอีจีเอสบี (EGSB หรือ expanded granular sludge bed)

ระบบนี้น้ำเสียจะไหลเข้าถังหมักทางด้านล่างโดยผ่านระบบท่อกระจายน้ำแบบพิเศษ โดยภายในถังจะมีชั้นนอนของตะกอนที่เป็นเม็ดแบคทีเรียขนาดเท่ากับเม็ดทราย มีขนาดใหญ่ สามารถตกตะกอนได้ดี มีความเร็วในการตกตะกอนประมาณ 60-80 m/hr โดยการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้กลายเป็นก๊าซมีเทน เกิดขึ้นภายในชั้นเม็ดแบคทีเรีย ความสูงของชั้นตะกอนขึ้นอยู่กับความสูงของถัง ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 7-14 เมตร เมื่อน้ำเสียไหลขึ้นมาถึงตอนบนซึ่งเป็น GSS ก๊าซชีวภาพและของแข็งแขวนลอยจะแยกออกจากน้ำเสียที่บำบัดแล้ว ก๊าซจะลอยตัวขึ้นสู่ผิวน้ำ ส่วนของแข็งแขวนลอยจะตกตะกอนกลับลงไปยังตอนล่างของถังปฏิกิริยา น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจะไหลออกจากระบบ โดยพบว่าระบบ GSS ของระบบบำบัดแบบ EGSB เป็นระบบที่ออกแบบมาพิเศษสามารถทำงานได้ดีกว่าระบบ GSS ของระบบยูเอเอสบี คือ สามารถปรับอัตราการไหลได้สูงกว่า

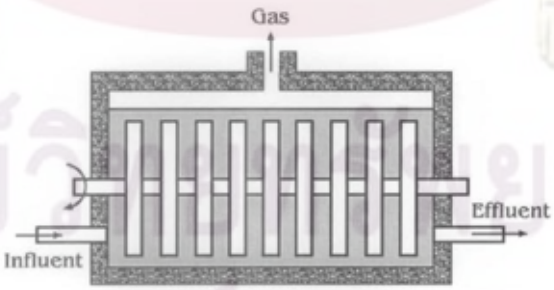
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 2.11 ระบบถังหมักแบบอีจีเอสบี (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542)

2.3.9 ระบบจานหมุนชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic rotating biological contactor)

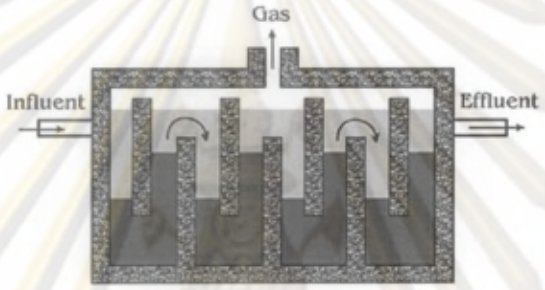
ลักษณะของระบบนี้คล้ายคลึงกับระบบจานหมุนชีวภาพธรรมดา แต่จะมีฝาปิดเพื่อไม่ให้มีการสัมผัสอากาศจากภายนอกและมีช่องระบายก๊าซออกทางตอนบน พบว่าระบบนี้แบคทีเรียไม่ใช้ออกซิเจนสามารถยึดเกาะและเจริญเติบโตได้ดีบนแผ่นจาน และในระบบนี้สามารถรับภาระสารอินทรีย์และทางชลศาสตร์ที่สูงขึ้นอย่างกะทันหันได้ดี



ภาพที่ 2.12 ระบบจานหมุนชีวภาพไม่ใช้ออกซิเจน (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542)

2.3.10 ระบบแผ่นกั้นไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic baffled reactor)

ลักษณะของระบบแผ่นกั้นไม่ใช้ออกซิเจน คือ มีแผ่นกั้นเพื่อบังคับให้น้ำเสียไหลขึ้นลงอยู่ในแนวตั้ง ตามลักษณะแผ่นกั้น ถังปฏิกิริยาจึงไม่จำเป็นที่ต้องมีความสูงมากเหมือนระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนแบบอื่นๆ ทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างต่ำ และข้อดีของระบบนี้ คือ เป็นระบบที่มีพื้นที่ผิวน้ำมาก ทำให้แบคทีเรียมีพื้นที่ในการตกตะกอนสูงกว่าระบบอื่นๆ การแยกตะกอนแขวนลอยสามารถทำได้ดีต้องไม่มีอุปกรณ์ใดๆ และก๊าซที่เกิดขึ้นในระบบแยกตัวออกได้ง่าย ทำให้การเก็บกักเซลล์ได้ดี มวลชีวภาพสะสมอยู่ในระบบได้มาก การบำบัดน้ำเสียจึงสามารถเกิดขึ้นได้ด้วยอัตราสูง



ภาพที่ 2.13 ระบบแผ่นกั้นไม่ใช้ออกซิเจน (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542)

2.3.11 ระบบเอเอสบีอาร์ (ASBR หรือ anaerobic sequencing batch reactor)

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากระบบบำบัดน้ำเสียดังกล่าวนี้สามารถลดปัญหาการใช้พลังงานและการดำเนินระบบไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม ซึ่งระบบบำบัดที่กำลังอยู่ในขั้นตอนการพัฒนาอีกระบบหนึ่ง คือ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ ASBR

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ ASBR จัดเป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนแขวนลอย (suspended growth) ที่มีการเดินระบบใน mode ของ batch feed system โดยระบบสามารถจำแนกการเดินระบบเป็น 4 ระยะ ดังภาพที่ 2.14 คือ การป้อนน้ำเสีย(substrate feed phase) การเกิดปฏิกิริยา (react phase) การตกตะกอน (settle phase) และการระบายน้ำเสียออกจากระบบ (effluent decant phase) กลุ่มนักวิจัยที่เริ่มเสนอแนวคิดของถังปฏิกิริยาประเภทนี้ และเทคโนโลยีได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องโดยกลุ่มนักวิจัยของ Iowa State University คุณสมบัติสำคัญของการบำบัดน้ำเสียโดยเทคโนโลยีแบบ ASBR คือ การสร้างสภาวะที่เอื้ออำนวยในการตกตะกอนของมวลชีวภาพในถังปฏิกิริยาเพื่อเพิ่มเวลากักเก็บน้ำ (HRT) ที่สั้น รวมถึงถังปฏิกิริยา ASBR ยังสามารถสร้างขบวนการคัดเลือกและพัฒนาเม็ดจุลินทรีย์ (granular biomass) ให้เกิดขึ้นในถังปฏิกิริยาเช่นเดียวกับที่พบในถังปฏิกิริยาแบบ UASB

หลักการการทำงานของระบบ ASBR สามารถจำแนกได้เป็น 4 ระยะ ซึ่งแต่ละขั้นตอนจะมีชื่อเรียกตามหน้าที่การทำงาน ดังนี้

1) การป้อนน้ำเสีย (substrate feed phase) คือ การป้อนน้ำเสียเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ จะต้องป้อนในอัตราที่เหมาะสม และต้องมีอัตราส่วนระหว่างช่วงเวลาป้อนน้ำทิ้งต่อช่วงเวลาการบำบัดที่เหมาะสมด้วย ทั้งนี้เนื่องจากอัตราส่วนดังกล่าวมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด

2) การเกิดปฏิกิริยา (react phase) คือ ทำการกวนผสม (mixing) ในระบบเป็นพักๆ เพื่อให้เกิดการกระจายตัวของน้ำเสีย และแบคทีเรียและอัตราการกวนเพื่อให้แบคทีเรียมีอากาศสัมผัสกับสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำได้อย่างทั่วถึง ทั้งนี้ระยะเวลาในการกวนต้องนานพอที่จะทำให้แบคทีเรียดูดซับสารอินทรีย์ได้ตามที่ต้องการและแบคทีเรียที่เกิดขึ้นมีระดับขั้นการเติบโตที่สามารถรวมตัวกันเป็นกลุ่มตะกอน (floc) ที่จะสามารถตกตะกอนได้ในขั้นต่อไป

3) การตกตะกอน (settle phase) คือ เป็นขั้นตอนที่ใช้แยกตะกอนจุลินทรีย์ออกเป็นส่วนที่เป็นน้ำ ซึ่งมีคุณภาพดีแล้ว โดยการหยุดเครื่องกวนผสมเพื่อให้เกิดสภาพนิ่งและให้ตกตะกอนลงสู่ก้นถัง ส่วนประสิทธิภาพการตกตะกอนจะขึ้นอยู่กับลักษณะของกลุ่มตะกอน (floc) ที่เกิดขึ้น ความนิ่งของน้ำในถังและระยะเวลาการตกตะกอน

4) การระบายน้ำเสีย (effluent decant phase) คือ การระบายน้ำส่วนใสออกจากระบบเป็นขั้นตอนการระบายน้ำส่วนใสหรือน้ำที่มีคุณภาพดีแล้ว ซึ่งอยู่ด้านบนของชั้นตะกอน การระบายน้ำส่วนใสนี้จะใช้วิธีใดก็ได้ที่จะไม่ทำให้ตะกอนฟุ้งและหลุดออกไปกับน้ำส่วนใส การควบคุมอัตราการไหลผ่านช่องระบายออก (decanting rate) มีความสำคัญในส่วนนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ 2.14 ขั้นตอนการเดินระบบ ASBR (Masse and Masse, 2000)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4 น้ำยางข้น

2.4.1 ประวัติยางพารา

ถิ่นกำเนิดของยางพาราอยู่ในทวีปอเมริกาใต้บริเวณฝั่งแม่น้ำอเมซอนในประเทศบราซิล โดยผู้ที่เริ่มนำยางพารามาใช้เป็นพวกแรกคือ พวกอินเดียนแดง นำยางพารามาใช้เป็นรองเท้า เสื้อกันฝน และลูกบอล ซึ่งชาวอินเดียนแดงเรียกว่า คาอุท์ชุก (Caoutchouc) แปลว่าต้นไม้ร้องไห้ ต่อมาในปี ค.ศ. 2313 โจเซฟ พริสลี (Joseph Priestley) ชาวยุโรปพบว่ายางสามารถลบรอยดินสอได้ โดยกระดาษไม่เสียจึงเรียกกันว่า ยางลบ และเป็นที่รู้จักกันมากขึ้น จนเมื่อปี พ.ศ. 2414 หรือประมาณ 100 ปีกว่ามานี้ มร. เฮนรี่ วิคแฮม (Sri Henry Wickham) นำเอาเมล็ดยางจำนวนหนึ่งส่งไปเพาะที่อุทยานคิว (Kew) ในกรุงลอนดอน และขยายพันธุ์มายังประเทศศรีลังกา สิงคโปร์ และแพร่พันธุ์เพิ่มจำนวนขึ้นเรื่อยๆ ในแถบประเทศเอเชีย จนราวปี พ.ศ. 2442-2444 พระยารัษฎานุประดิษฐ์เจ้าเมืองตรัง ได้ไปเห็นการทำสวนยางในมาเลเซีย จึงนำมาปลูกและแจกจ่ายให้กับประชาชนทั่วไปจนเป็นที่นิยมทางภาคใต้ทุกจังหวัด และในปี พ.ศ. 2453 หลวงราชไมตรีได้นำไปปลูกและแพร่พันธุ์ในจังหวัดจันทบุรี ระยอง และตราด

ลักษณะของน้ำยางธรรมชาติ เหมือนน้ำนม (Milk) พบในพืชหลายชนิด เช่น พืชในตระกูล *Euphorbia*, *Gutta percha* และ *Hevea brasiliensis* เป็นต้น ยางพาราเป็นพืชที่มีลำต้นใหญ่ สูงประมาณ 130-160 ฟุต มีใบแบบใบผสมซึ่งประกอบด้วยใบ 3 ใบ ใบที่เกิดใหม่มีขนาดเล็กและมีสีเหลืองแดง ยางพาราจะผลัดใบในฤดูหนาวและเริ่มออกดอกหลังฤดูร้อน ดอกของยางพาราทั้งดอกตัวผู้ และดอกตัวเมียมีสีเหลือง-เขียว ดอกตัวเมียจะอยู่ที่ปลายของก้านดอก ซึ่งจะถูกห้อมล้อมด้วยดอกตัวผู้จำนวนมากที่อยู่ถัดเข้ามา ผลของยางพาราเป็นเปลือกรูปรีติดกัน 3 อัน หุ้มเมล็ดไว้ภายในเมื่อผลสุกเปลือกจะแห้ง เมื่อเปลือกแตกจะเกิดแรงดีด ทำให้เมล็ดกระเด็นออกไป ซึ่งบางครั้งอาจจะกระเด็นไปได้ไกลถึง 80 ฟุตทีเดียว เมล็ดยางพาราเมื่องอกแล้วจะใช้เวลา 7-8 ปี จึงจะโตเต็มที่

2.4.2 ส่วนประกอบในน้ำยางธรรมชาติ

น้ำยางธรรมชาติเป็นสารแขวนลอยมีความหนาแน่น 0.975-0.980 กรัม/ลิตร มีพีเอชประมาณ 6.5-7.0 ความหนืดไม่แน่นอน มีส่วนประกอบของสารต่างๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น พันธุ์ยาง อายุต้นยาง การกรีด และฤดูกาล น้ำยางมีส่วนประกอบหลักๆ อยู่ 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นเนื้อยางและส่วนที่ไม่ใช่เนื้อยาง ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติดังในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ

ส่วนประกอบ	เปอร์เซ็นต์
ของแข็งทั้งหมด	22-48
เนื้อยางแห้ง	20-45
โปรตีน	1.5
เรซิ่น	2.0
คาร์โบไฮเดรต	1.0
สารอินทรีย์	0.5

2.4.2.1 ส่วนที่เป็นเนื้อยาง (Dry Rubber Sheet)

มีอนุภาคของยางที่แขวนลอย (Suspend) ในน้ำเรียกว่า เซรุ่ม เป็นอนุภาคกลมมีขนาดตั้งแต่ 0.1-1.0 ไมครอน (1 ไมครอน = 1/1000 มม.) โมเลกุลมีขนาดใหญ่ไม่ละลายในน้ำ และเมื่ออยู่ในสภาพของน้ำยางสด ผิวรอบอนุภาคจะถูกห่อหุ้มด้วยชั้นของสารพวกไขมันและโปรตีน ซึ่งในยางธรรมชาติจะประกอบด้วยธาตุไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) ในสัดส่วนของคาร์บอน : ไฮโดรเจน เป็น 5:8 จึงเขียนเป็นสูตรเคมีว่า C_5H_8 ซึ่งเรียกว่า Isoprene (2-Methyl-1,3-Butadiene) ยาง 1 โมเลกุล เกิดจาก Isoprene หลายพันโมเลกุลมาต่อกันเป็นโซ่ (Chain) ยาว ดังนั้นจึงเรียกยางว่า Polyisoprene ยาง 1 โมเลกุลอาจจะประกอบด้วย Isoprene ถึง 11,000 หน่วย (Unit) ซึ่งถ้าเปรียบเทียบการเรียงตัวของคาร์บอนอะตอมในยางกับการนำเส้นลวดเล็กๆ ยาว 20 ฟุต มาหักงอทำมุม 108 องศา ทุกๆ ครึ่งนิ้ว เส้นลวดนี้สามารถแทนสายโซ่ Isoprene ได้เพียง 120 หน่วยเท่านั้น

2.4.2.2 ส่วนที่ไม่ใช่เนื้อยาง (Non Rubber Content)

2.4.2.2.1 คาร์โบไฮเดรต ส่วนใหญ่เป็นพวกแอลเมธิลไลโนซิทอล (L-Methylioositol) ส่วนคาร์โบไฮเดรตอื่นๆ ซึ่งมีอยู่จำนวนน้อย ได้แก่ กลูโคส ซูโครส ฟรุกโตส และกาแลคโตส น้ำตาลเหล่านี้เมื่อถูกออกซิไดซ์โดยจุลินทรีย์จะเปลี่ยนสภาพเป็นกรดอินทรีย์ (Volatile Fatty Acid) เช่น กรดฟอร์มิก กรดอะซิติก และกรดโพรพิโอนิก

2.4.2.2.2 โปรตีนและกรดอะมิโน มีหลายชนิดที่สำคัญคือ

- แอลฟาโกลบูลิน เป็นโปรตีนที่มีสมบัติ surface active จะอยู่บนรอยต่อระหว่างน้ำกับอากาศ และน้ำมันกับน้ำได้ทันที ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายในกรด-ด่าง และเกลือ มี Isoelectric Point ที่พีเอชเท่ากับ 4.8 ซึ่งเป็นจุดที่ใกล้เคียงกับน้ำยางมาก

- เฮวาลิน (Hevalin) จะอยู่ที่อนุภาคของเม็ดยาง และละลายอยู่ในชั้นน้ำ มีค่า Isoelectric Point ที่พีเอชเท่ากับ 4.5 มีกำมะถันเป็นส่วนประกอบอยู่ 5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อน้ำยางเกิดการบูดเน่าเนื่องมาจากโปรตีนส่วนหนึ่งละลายน้ำให้สารประกอบพวกไฮโดรเจนซัลไฟด์และสารเมอร์แคบแทน (mercaptan) ซึ่งทำให้เกิดกลิ่นเหม็นได้

- องค์ประกอบอื่นๆ มีสารพวกที่มีส่วนประกอบของไนโตรเจนอิสระ เช่น โคลีน (Choline) เมธิลลามีน (Methylamine) กรดอินทรีย์ (Organic Acid) กรดอนินทรีย์ (Inorganic Acid) อนุมูลของสารอนินทรีย์โดยเฉพาะฟอสเฟตและคาร์บอเนต และอนุมูลของโลหะซึ่งส่วนใหญ่เป็นพวกเหล็ก แมกนีเซียม โซเดียม ทองแดง นอกจากนี้ยังมีไซยาไนด์ประมาณ 0.25 เปอร์เซ็นต์

2.4.3 สมบัติและการใช้งานน้ำยางข้นชนิดต่าง ๆ

2.4.3.1 น้ำยางข้นจากการปั่นชนิดแอมโมเนียมาก (HA Centrifuged Latex)

น้ำยางข้นชนิดนี้ใช้ในงานการผลิตผลิตภัณฑ์ที่จะใช้สัมผัสกับอาหารและผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ ข้อเสียของน้ำยาง HA คือมีกลิ่นฉุนของแอมโมเนีย และจำเป็นต้องไล่ก๊าซแอมโมเนียในขณะการนำไปขึ้นรูปผลิตภัณฑ์

2.4.3.2 น้ำยางข้นจากการปั่นชนิดแอมโมเนียน้อย (LA Centrifuged Latex)

น้ำยางข้นจากการปั่นชนิดที่รักษาด้วยแอมโมเนียน้อย มีการผลิตจำหน่ายในรูปต่าง ๆ ดังนี้

ก. Tetramethylthiuram disulphide / Zinc Oxide (LA-TZ) เป็นชนิดที่มีการใช้กันอย่างกว้างขวางที่สุดในกลุ่มนี้ การรักษาสภาพโดยใช้สารเคมีผสมระหว่างไทยูแรมกับซิงค์อ๊อกไซด์ช่วยสารเคมีหลัก คือ แอมโมเนีย มีการใช้งานขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ

ข. Sodium Pentachlorophenate Preserved (LA-SPP) น้ำยางชนิดนี้มีความเสถียรของสถานะคอลลอยด์ (colloid) ของน้ำยางที่ดีที่สุด มีความเสถียรทางกลและความเสถียรทางเคมีมาก (High Mechanical and ZnO stability) ดังนั้นจึงเหมาะในงานขึ้นรูปที่ในกระบวนการผลิตต้องการสมบัติเหล่านี้ ซึ่งได้แก่ งานผลิตยางฟองน้ำรองพรม เป็นต้น ข้อเสียของน้ำยางชนิดนี้คือ สีของผลผลิตคล้ำกว่าน้ำยางจากการปั่นที่รักษาด้วยระบบอื่นๆและมีข้อจำกัดในการนำไปใช้งานด้านการผลิตผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ของบางประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศเยอรมัน

ค. Zinc Diethyldithiocarbamate Preserved (LA-ZDC) น้ำยางชนิดนี้คล้ายคลึงกับน้ำยางชนิด HA และมีการใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางเพราะ ZDC เป็นสารเร่งที่ยอมรับในวงการทำผลิตภัณฑ์ที่ต้องใช้สัมผัสอาหาร ผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง

ZDC ที่ใช้ในกระบวนการผลิตผลิภัณฑ์ดังกล่าวจะใช้ในปริมาณซึ่งใช้รักษาน้ำยางมาก (การใช้ ZDC รักษาน้ำยางร้อยละ 0.1 โดนน้ำหนัก)

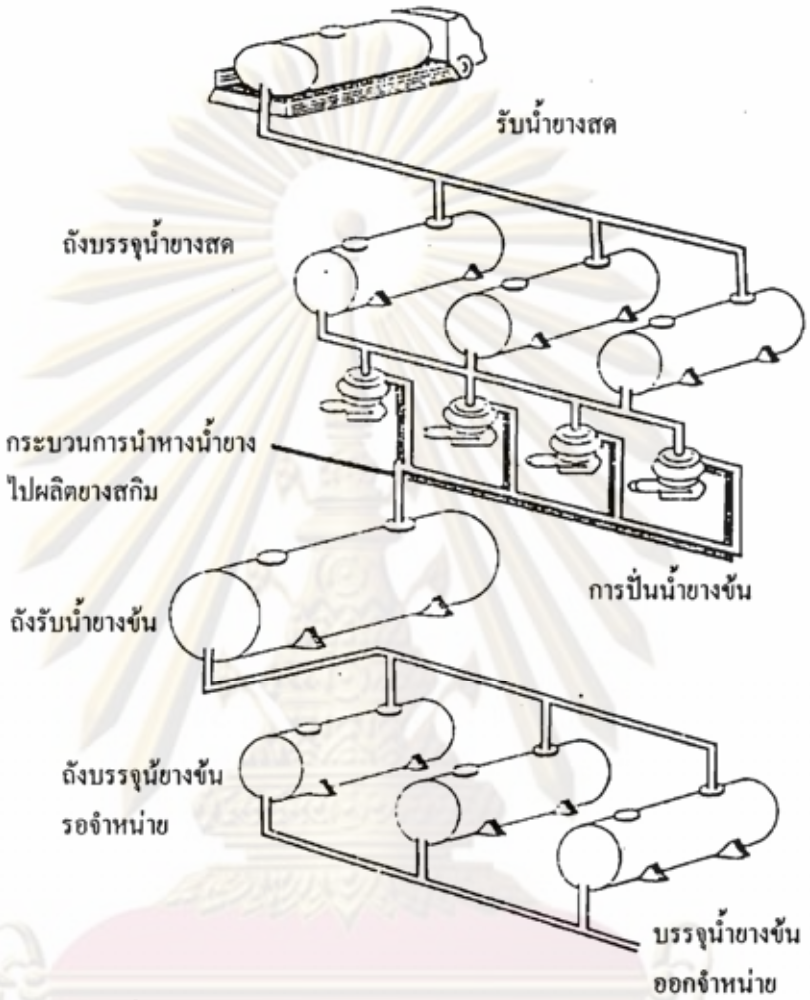
ง. Boric Acid Preserved (LA-BA) น้ำยาง (LA-BA) มีสีค่อนข้างจางกว่าพวก HA หรือ LA-ZDC ดังนั้นจึงมักใช้กันในโรงงานผลิตพวกที่ต้องการสีจางๆ แต่น้ำยางชนิดนี้มีความเสถียรค่อนข้างต่ำกว่าน้ำยางที่รักษาด้วยสารเคมีระบบอื่น ๆ

2.4.4 กระบวนการผลิตน้ำยางข้น (Concentrating Process)

น้ำยางข้นส่วนใหญ่ผลิตจากกรรมวิธีการปั่นน้ำยางสดที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งประมาณร้อยละ 25-35 ซึ่งได้รักษาสภาพไว้ด้วยแอมโมเนีย ขนส่งน้ำยางสดไปยังโรงงานผลิต จากนั้นทำการทดสอบหาปริมาณเนื้อยาง ทดสอบระดับการรักษาสภาพน้ำยาง โดยการหาจำนวนกรดไขมันระเหยได้ (VFA No, Volatile Fatty Acid No) และการทดสอบหาปริมาณธาตุแมกนีเซียม เมื่อตรวจสอบสภาพน้ำยางสดถูกต้องแล้วจะเติม DAHP (Diammonium Hydrogen Phosphate) เพื่อตกตะกอนแมกนีเซียมในถังรวมอย่างน้อย 12 ชั่วโมง ก่อนการนำเข้าเครื่องปั่น

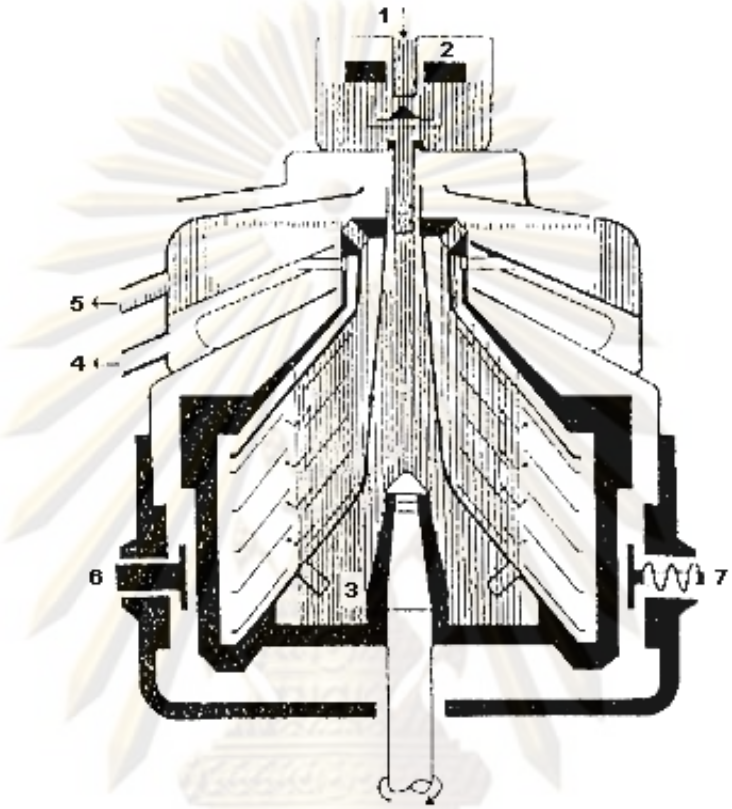
ภาพที่ 2.15 แสดงผังการผลิตน้ำยางข้นโดยการปั่น โดยน้ำยางสดจะไหลจากถังรวมเข้าสู่เครื่องปั่น ซึ่งจะทำการปั่นอย่างต่อเนื่องประมาณ 250-450 ลิตรต่อชั่วโมง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและการตั้งเครื่อง เครื่องปั่นจะแยกน้ำยางสดเป็นน้ำยางข้น (ปริมาณเนื้อยางแห้ง มากกว่าร้อยละ 60) และหางน้ำยาง (skim latex) (ปริมาณเนื้อยางแห้งร้อยละ 3-8) และจะแยกสารอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ยางออกด้วย ส่วนของหางน้ำยางจะถูกทำเป็น สกิมแท่ง หรือสกิมเครพ โดยการไล่แอมโมเนียออก ทำให้จับตัวผ่านเครื่องรีดเครพ หรือเครื่องทำยางแท่ง แล้วอบแห้ง ส่วนน้ำยางข้นจะถูกอัดด้วยแก๊สแอมโมเนียหรือเติมน้ำแอมโมเนีย และปั๊มหรือไหลเข้าถังผสม รอการตรวจสอบคุณภาพให้ถูกต้องก่อนการบรรจุถังเพื่อจำหน่าย ภาพที่ 2.16 แสดงภาพตัดตามยาวของถังปั่นน้ำยางข้น ส่วนภาพที่ 2.17 แสดงกระบวนการผลิตน้ำยางข้นและน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 2.15 ผังการผลิตน้ำยางข้นโดยการปั่น (วราภรณ์ ขจรไชยกุล, 2537)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 2.16 ภาพตัดตามยาวของถังปั่นน้ำยางข้น (วราภรณ์ ขจรไชยกุล, 2537)

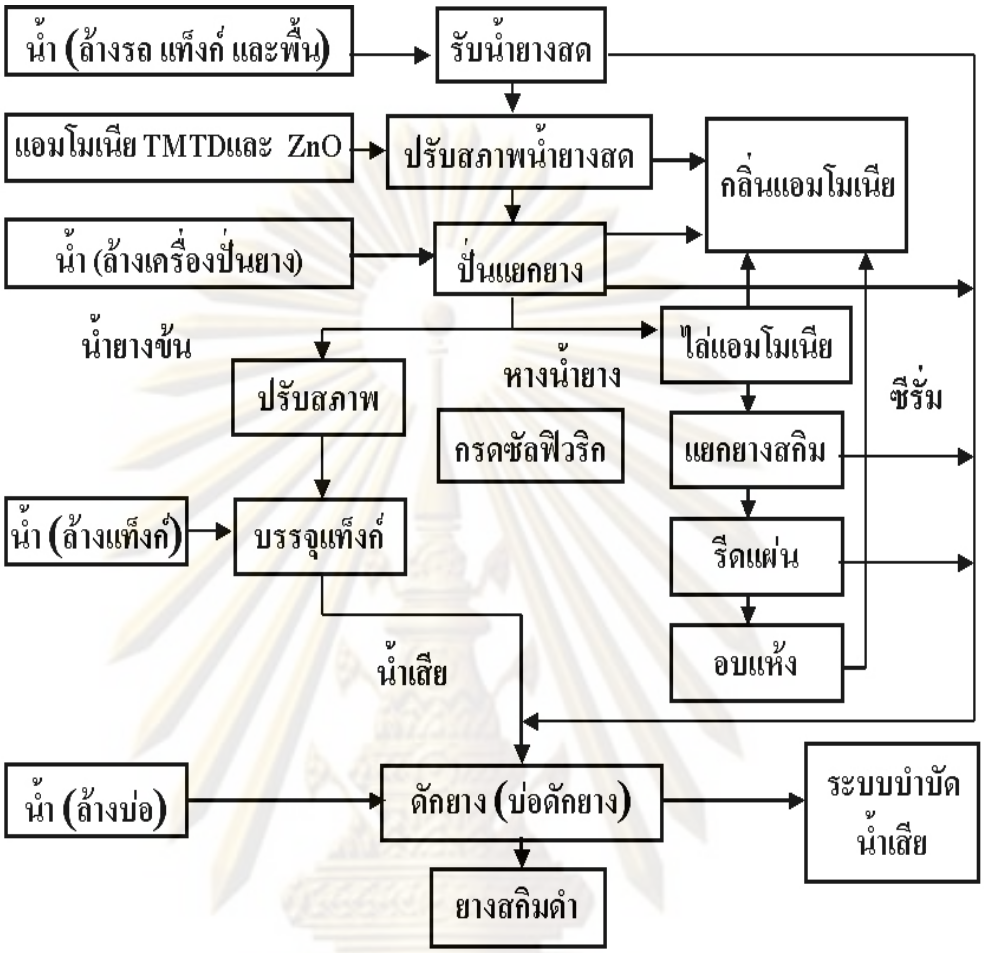
เมื่อ: 1 คือ ท่อรับน้ำยาง 2 คือ หม้อพักและลูกลอย

3 คือ ท่อจ่าย 4 คือ ทางออกหางน้ำยาง

5 คือ ทางออกน้ำยางข้น 6 คือ เบรกเชิงกล

7 คือ เบรกแม่เหล็ก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 2.17 กระบวนการผลิตน้ำยางข้นและน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.5 สมดุลมวลของซีโอดี และซัลเฟอร์ในกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน เมื่อมีซัลเฟตอยู่ในน้ำเสีย

2.5.1 สมดุลมวลของซีโอดี

เนื่องจากในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่มีซัลเฟตเข้ามาเกี่ยวข้อง จะมีการแข่งขันกันระหว่างแบคทีเรียสร้างมีเทน แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตในการใช้สารอาหาร ดังนั้นในการวัดว่าแบคทีเรียชนิดใดสามารถใช้สารอาหารได้ในสัดส่วนเท่าใด สามารถวัดได้คร่าว ๆ ด้วยปริมาณซีโอดีที่ถูกใช้ไปโดยแบคทีเรียแต่ละชนิด

ซีโอดี คือ ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ทั้งที่แบคทีเรียย่อยสลายได้และไม่สามารถย่อยสลายได้ในน้ำเสียเกิดการเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ซึ่งเป็นผลผลิตสุดท้ายของปฏิกิริยา ดังสมการ

$$CHO + Cr_2O_7^{2-} \longrightarrow CO_2 + H_2O + Cr^{3+} + Cr_2O_7^{2-}$$

(เกินพอ) (เหลือ)

ส่วนสารจำพวกกรดอะมิโนจะถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียไนโตรเจนเป็นผลสุดท้ายของปฏิกิริยาแทน ซึ่งปัจจัยสำคัญในการวิเคราะห์ซีโอดี คือ ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นต้องอาศัยสารออกซิไดซ์อย่างแรง และต้องเกิดขึ้นภายใต้สภาวะที่เป็นกรดเข้มข้นและอุณหภูมิสูง

จากหลักการของการวิเคราะห์ซีโอดีที่ใช้สารออกซิไดซ์อย่างแรงย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ดังนั้นค่าซีโอดีจึงเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้แสดงค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำได้ แต่การใช้สารออกซิไดซ์ที่มีอำนาจในการออกซิไดซ์สูง เช่น ไดโครเมต ทำให้สารอิเล็กตรอนอื่นในระบบที่ไม่เป็นสารอินทรีย์ที่ให้อิเล็กตรอนกับไดโครเมต และเปลี่ยนไปอยู่ในอีกรูปหนึ่ง เช่น ซัลไฟด์อิออนถูกออกซิไดซ์โดยไดโครเมตเป็นซัลเฟต เป็นต้น ดังนั้นการวัดซีโอดีจึงไม่ได้เป็นการวัดสารอินทรีย์ในน้ำเพียงอย่างเดียว แต่เป็นการวัดปริมาณสารให้อิเล็กตรอนในน้ำทั้งหมด ดังนั้นต้องพยายามกำจัดสารให้อิเล็กตรอนอื่น ๆ ในน้ำก่อนการวัดซีโอดี เช่น การปรับพีเอชของน้ำเสียให้ต่ำลงเพื่อไล่ไฮโดรเจนซัลไฟด์ในน้ำเสีย เป็นต้น

สมดุลมวลของซีโอดีก่อนและหลังกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน สามารถพิจารณาได้ดังสมการด้านล่างนี้

$$COD_{in} = \text{soluble } COD_{eff} + CH_{4\,gas}COD + COD_{acc} \quad \text{.....(2.1)}$$

เมื่อ

COD_{in} = ซีโอดีทั้งหมดก่อนเข้าระบบ

soluble COD_{eff} = ซีโอดีละลายหลังผ่านระบบ

$CH_{4\,gas}$ COD = ซีโอดีในรูปของก๊าซมีเทน

COD_{acc} = ซีโอดีที่ถูกสะสมอยู่ในเซลล์จุลินทรีย์

โดย

$$\text{soluble COD}_{eff} = \Delta SO_4^{2-} - \text{COD} + \text{soluble } CH_4 - \text{COD} + \text{soluble organic COD} \quad \ldots(2..2)$$

เมื่อ

ΔSO_4^{2-} - COD = ซีโอดีที่ถูกใช้สำหรับรีดิวซ์ซัลเฟตให้เปลี่ยนเป็นซัลไฟด์

soluble CH_4 – COD = ซีโอดีที่เกิดจากมีเทนละลายน้ำ

soluble organic COD = ซีโอดีในรูปกรดอินทรีย์ระเหยและสารอินทรีย์อื่นที่ไม่ถูกย่อยสลายด้วยกระบวนการไร้ออกซิเจน

ค่า COD_{in} และ soluble COD_{eff} เป็นค่าที่วัดได้โดยตรงจากการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ ส่วนค่า $CH_{4\ gas}$ – COD, soluble CH_4 – COD และ ΔSO_4^{2-} - COD หาได้ทางอ้อมด้วยการคำนวณจาก Stoichiometric ดังนี้ คือ

$$SO_4^{2-} + 8H^+ + 8e^- \longrightarrow S^{2-} + 4H_2O \quad \ldots\ldots\ldots(2.3)$$

96 g 8 โมล 32 ก.

$$2H^+ + 1/2O_2 + 2e^- \longrightarrow H_2O \quad \ldots\ldots\ldots(2.4)$$

16 g 2 โมล

จากสมการที่ 2.3 ซัลเฟตที่ลดลง 96 กรัม เกิดจากการรับอิเล็กตรอน 8 โมล กลายเป็นซัลเฟอร์ 32 กรัม และจากสมการที่ 2.4 อิเล็กตรอน 2 โมล คิดเทียบเป็นซีโอดีได้ 16 กรัม นั่นคือซัลไฟด์ที่เกิดขึ้น 32 กรัม มาจากซัลเฟตที่ลดลง 96 กรัม และมีค่าเทียบเท่ากับซีโอดี 64 กรัม เพราะฉะนั้น การหาค่า ΔSO_4^{2-} - COD ก็คำนวณได้จากซัลเฟตที่ลดลง โดยซัลเฟตที่ลดลง 3 มิลลิกรัม เทียบเท่ากับซีโอดี 2 มิลลิกรัม

ส่วน CH_4 – COD(ทั้ง$CH_{4\ gas}$– COD และsoluble CH_4 – COD)คำนวณจากสมการที่ 2.5

$$CH_4 + 2O_2 \longrightarrow CO_2 + 2H_2O \quad \ldots\ldots\ldots(2.5)$$

16 g 64g 44 g

จากสมการที่ 2.5 จะเห็นได้ว่า มีเทน 16 กรัม ทำปฏิกิริยาพอดีกับออกซิเจน 64 กรัม เกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ แสดงว่ามีเทน 1 มิลลิกรัม มีค่าเทียบเท่ากับซีโอดี 4 มิลลิกรัม โดย $CH_{4\ gas}$ – COD หาได้จากการวัดปริมาตรก๊าซทั้งหมดและการวัดร้อยละของก๊าซมีเทนในปริมาตรก๊าซทั้งหมด แล้วจึงเปลี่ยนปริมาตรก๊าซที่คำนวณได้เป็นจำนวนโมลของก๊าซมีเทนด้วยกฎของก๊าซ ส่วน soluble CH_4 – COD คำนวณโดยใช้ทฤษฎีของเฮนรี

- ซีโอดีในรูปของก๊าซมีเทนหาได้จาก

$$CH_4 - \text{COD} = (\text{Total gas volume} \times \%\ CH_4 \times 16 \times 4) / (24.86 \times Q)$$

เมื่อ

$CH_{4\ gas}$ – COD = ซีโอดีในรูปของก๊าซมีเทน (มิลลิกรัมต่อลิตร)

Total gas volume = ปริมาตรก๊าซทั้งหมด (มิลลิลิตรต่อวัน)

% CH_4 = ร้อยละของก๊าซมีเทน

24.86 = ปริมาตรก๊าซ 1 โมล ที่ 30 °C (ลิตร) (ปริมาตรก๊าซ 1 โมล ที่ 0 °C = 22.4 ลิตร)

Q = อัตราการไหลของน้ำเสียต่อวัน (ลิตรต่อวัน)

16 = น้ำหนักของมีเทน 1 โมล (กรัม)

4 = ซีโอดีของก๊าซมีเทน 1 กรัม (กรัม)

- ซีโอดีในรูปมีเทนละลายน้ำในน้ำออกหาได้จาก

$$\text{Soluble } CH_4\text{–COD} = K_{hCH4} \times \text{Partial Pressure of } CH_4 \times 16{,}000 \times 4$$

เมื่อ

K_h = ค่าคงที่ของเฮนรีสำหรับก๊าซมีเทนที่ 30 °C (โมล/ลิตร)

= 12.4×10^{-4}

Partial Pressure of CH_4 = ความดันพาร์เชียลของก๊าซมีเทน (สัดส่วนก๊าซมีเทน)

ส่วนซีโอดีที่ถูกเปลี่ยนเป็นเซลล์จุลชีพเป็นซีโอดีส่วนที่ไม่สามารถวัดได้ แต่ถ้าเราตั้งสมมติฐานว่า ซีโอดีที่ถูกย่อยสลายและไม่สามารถตรวจสอบได้ คือ ซีโอดีที่ถูกสะสมอยู่ในเซลล์จุลชีพ เมื่อพิจารณาสมการ 2.1 และ 2.2 จะได้

$$COD_{acc} = COD_{in} - \Delta SO_4^{2-}\text{COD} - \text{soluble organic COD} - \text{soluble } CH_4\text{–COD} - CH_{4\ gas}\text{COD} \quad \ldots(2.6)$$

สมการ 2.6 ใช้ในการทดสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูล โดยดูจากร้อยละของมวลซีโอดีที่ออกจากระบบต่อร้อยละของมวลซีโอดีเข้าระบบ เรียกว่า %COD recovery แต่จากสมการที่ 2.6 ค่าซีโอดีไม่สามารถตรวจสอบได้ คือซีโอดีที่ถูกเปลี่ยนสะสมอยู่ในเซลล์จุลินทรีย์ ดังนั้น ค่า %recovery จะมีค่าเป็น 100% เสมอ แต่ในความเป็นจริงที่จะวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้ถูกต้องทั้งหมด 100% เป็นไปได้ยาก ถ้าพิจารณาโดยถือว่าซีโอดีที่หายไปจากการเปลี่ยนเป็นเซลล์จุลินทรีย์มีค่าน้อย เนื่องจากเป็นระบบไร้ออกซิเจนที่มีเวลากักเซลล์ยาวนาน ค่า Yield observed มีค่าต่ำมาก สามารถตัดทิ้งได้โดยไม่ต้องนำมาพิจารณา ประโยชน์ที่ได้ก็คือสามารถตรวจสอบความน่าเชื่อในการทำงานทั้งหมดได้จากสมดุลมวลของซีโอดีที่ถูกสร้างขึ้นมาและจากพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง ดังนั้น %COD recovery สามารถหาได้จากสมการ 2.7

$$\%\text{COD recovery} = \frac{\Delta SO_4^{2-}\text{-COD+soluble organic COD+soluble } CH_4\text{–COD+}CH_{4\,gas}\text{COD}}{COD_{in}} \times 100 \quad \ldots(2.7)$$

นอกจากนั้นจากสมดุลมวลของซีโอดีที่สร้างขึ้นยังทำให้หาสัดส่วนซีโอดีที่ถูกใช้โดยแบคทีเรียสร้างมีเทน แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต โดยเรียกว่า เปอร์เซ็นต์การไหลของอิเล็คตรอน ซึ่งหาได้จากสมการ 2.8 – 2.9

$$\%\text{electron flow to MBP} = [(CH_4 - COD) / (CH_4 - COD + \Delta SO_4^{2-}\text{–COD})] \quad \ldots\ldots\ldots (2.8)$$

$$\%\text{electron flow to SRB} = [(\Delta SO_4^{2-}\text{–COD}) / (CH_4 - COD + \Delta SO_4^{2-}\text{–COD})] \quad \ldots\ldots\ldots(2.9)$$

จากเปอร์เซ็นต์การไหลของอิเล็กตรอน เราสามารถเปรียบเทียบการแข่งขันระหว่างแบคทีเรียสร้างมีเทน และแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต โดยที่แบคทีเรียชนิดใดที่มีเปอร์เซ็นต์การไหลของอิเล็กตรอนมากกว่าจะเป็นแบคทีเรียที่มีความโดดเด่น (Predominate) มากกว่าในระบบนั้น ๆ

2.5.2 สมดุลมวลของซัลเฟอร์

เมื่อแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตใช้ซัลเฟตเป็นตัวรับอิเล็กตรอน ซัลเฟตจะถูกรีดิวซ์และเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของซัลไฟด์ โดยซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นมีอยู่หลายรูปแบบ ได้แก่ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในวัฏภาคก๊าซ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ละลายน้ำที่ไม่แตกตัว HS^- และ S^- ในวัฏภาคของเหลว รวมถึงซัลไฟด์ที่ตกตะกอนผลึกกับโลหะหนักเป็นตะกอนผลึกของโลหะซัลไฟด์ โดยสภาวะสมดุลระหว่างก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์ละลายน้ำที่ไม่แตกตัวสามารถอธิบายได้โดยใช้กฎของเฮนรี ส่วนสัดส่วนระหว่างไฮโดรเจนซัลไฟด์ละลายน้ำที่ไม่แตกตัว HS^- และ S^- สามารถดูได้จาก พีเอชของระบบบำบัด

สมดุลมวลของซัลเฟอร์ในระบบหาได้จาก

$$SO_4^{2-}{}_{in} = SO_4^{2-}{}_{eff} + S^{2-} + HS^- + H_2S_{aq} + H_2S_{gas} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(2.12)$$

เมื่อ

$SO_4^{2-}{}_{in}$ = ซัลเฟอร์ที่อยู่ในรูปซัลเฟตที่อยู่ในน้ำเข้า

$SO_4^{2-}{}_{eff}$ = ซัลเฟอร์ที่อยู่ในรูปซัลเฟตที่อยู่ในน้ำออก

S^{2-} = ซัลเฟอร์ที่อยู่ในรูปซัลไฟด์อิออน

HS^- = ซัลเฟอร์ที่อยู่ในรูปไฮโดรเจนซัลไฟด์ละลายน้ำที่แตกตัว

H_2S_{aq} = ซัลเฟอร์ที่อยู่ในรูปซัลไฟด์ละลายน้ำที่ไม่แตกตัว

H_2S_{gas} = ซัลเฟอร์ที่อยู่ในรูปไฮโดรเจนซัลไฟด์ในสถานะก๊าซ

และ

$$\%\text{sulfur recovery} = [(SO_4^{2-}{}_{eff} + S^{2-} + HS^- + H_2S_{aq} + H_2S_{gas}) / SO_4^{2-}{}_{in})] \times 100 \quad \ldots\ldots\ldots(2.11)$$

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชาญศักดิ์ คชานุบาล (2542) ศึกษาประสิทธิภาพของระบบเอสบีอาร์ในการบำบัดสารอินทรีย์ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากโรงงานปลาทูนึ่ง จากการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการควบคุมระบบเอสบีอาร์ให้มีประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานปลาทูนึ่ง คือช่วงเวลาแอนออกซิก 3 ชั่วโมง และระยะเวลาเก็บกักตะกอน 20 วัน โดยมีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสร้อยละ 98.70, 97.44 และ 99.28 ตามลำดับ

อรทัย ทิมพงษ์ (2548) ศึกษาความสามารถสูงสุดของระบบเอเอสบีอาร์ในการรับภาระบรรทุกในการบำบัดสารอินทรีย์จากน้ำเสียชุมชน โดยผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการบำบัดสารอินทรีย์วัดในรูปของซีโอดีได้มากกว่าร้อยละ 90 โดยน้ำทิ้งจะมีค่าบีโอดีน้อยกว่า 20 มิลลิกรัมต่อลิตร และระบบมีการพัฒนาเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ให้เจริญเติบโตแม้ในสภาวะที่มีสารอาหารความเข้มข้นต่ำโดยดูจากสัดส่วนของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายต่อของแข็งแขวนลอยที่ก่อนเริ่มต้นทดลองมีค่า 0.82 และหลังสิ้นสุดการทดลองมีค่า 0.87

อลิสรา วงศ์กิตติวิมล (2543) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นโดยถังปฏิกรณ์ไฮบริดแบบไม่ใช้ออกซิเจน พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีทั้งหมดที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 1.5, 2.5, 4 และ 6 วัน มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 40.9, 59.0, 80.8 และ 83.6 ตามลำดับ พีเอชของน้ำภายในถังของทั้ง 4 การทดลอง มีค่าอยู่ระหว่าง 7.37 – 7.81 ร้อยละของก๊าซมีเทนของทั้ง 4 ชุดการทดลอง เท่ากับ 85.19, 84.36, 93.74 และ 94.72

Anjan และKalia-Shiv (2001) ศึกษาผลของการผสมของเหลวสำหรับช่วยย่อยสลายต่ออัตราการผลิตแก๊สชีวภาพจากของเสียจำพวกมูลสัตว์ในถังหมักไร้อากาศ โดยทำการทดลองหมักมูลสัตว์ 40 กิโลกรัม เปรียบเทียบการย่อยสลายใน 2 ถัง คือ ถังหมักที่มีมูลสัตว์เพียงอย่างเดียวและถังหมักที่มีมูลสัตว์ถูกผสมด้วยของเหลวช่วยย่อยสลาย ผลการทดลองพบว่าถังที่มีมูลสัตว์อย่างเดียวสามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้ 821 ลิตรและถังที่มีการผสมของเหลวเพื่อช่วยย่อยสลาย สามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้ 1,457 ลิตร โดยการผสมของเหลวสำหรับช่วยย่อยสลายนั้นไม่เพียงแต่ช่วยเพิ่มอัตราการผลิตแก๊สชีวภาพเท่านั้น แต่สามารถช่วยในการกำจัดของแข็งระเหยได้อีกด้วย โดยพบว่าสำหรับถังที่มีการผสมของเหลวสำหรับช่วยย่อยสลายนั้นสามารถกำจัดของแข็งระเหยสูง 36.1 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ถังที่ไม่มีการผสมสามารถกำจัดของแข็งระเหยได้เพียง 23.93 เปอร์เซ็นต์

Arthur (1999) รวบรวมข้อมูลพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการกวนผสมของเหลวในกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ โดยสามารถสรุปได้เป็น 3 พารามิเตอร์ดังนี้

1. ค่าอัตราการพลิก (Turnover rate) คือ อัตราการพลิกของน้ำด้วยแก๊สชีวภาพที่มีการหมุนเวียนลงในระบบต่อเวลา จากการศึกษาพบว่าควรใช้ค่าอัตราการพลิกของน้ำเป็น 20 นาที

ต่อครั้ง สำหรับการย่อยสลายน้ำเสียที่มีสลัดจ์หนาแน่น และใช้ค่าอัตราการพลิกเป็น 30 นาทีต่อครั้งสำหรับการย่อยสลายน้ำเสียที่มีสลัดจ์ไม่หนาแน่น

2. ค่าความลาดชันความเร็ว (G: Velocity Gradient) คือค่ารากที่สองของกำลังการทำงานของเครื่องกวนผสมของเสียหารด้วยความหนืดของของเหลวและปริมาตรน้ำเสียภายในระบบบำบัดนั้นๆ จากการศึกษาพบว่าค่าความลาดชันความเร็วที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสีย ควรมีค่าอยู่ในช่วง 50-85 ต่อวินาที

3. ค่ากำลังการหมุนของเครื่องกวนผสมต่อปริมาตรของของเสียที่ต้องการกำจัด (Hp/1000 cu ft) คือค่ากำลังการทำงานต่อปริมาตรของเสีย กำหนดโดย US EPA โดยระบุว่าค่าที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสียทั่วไปควรอยู่ในช่วง 0.20-0.30 HP/1000 cu ft

Igor และคณะ (2002) ศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลากักพักชลศาสตร์ต่อการเริ่มเดินระบบและสภาวะคงตัวของ Upflow Anaerobic Filter (UAF) และระบบบำบัดเอสบีอาร์แบบไม่ใช้ออกซิเจน การผสมกันระหว่างสารตั้งต้นสังเคราะห์ (glucose และ sodium acetate) และน้ำเสียจากชุมชนได้ถูกนำมาใช้ในการทดลอง อุณหภูมิ (ในช่วง 9-23 องศาเซลเซียส) และระยะเวลากักพักชลศาสตร์ (ในช่วง 6-46 ชั่วโมง) ได้ถูกเลือกใช้ในการทดลองนี้ ซึ่งทำให้ได้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในระบบเอสบีอาร์แบบไม่ใช้ออกซิเจนอยู่ระหว่าง 56-88 เปอร์เซ็นต์ และ 46-92 เปอร์เซ็นต์ สำหรับระบบ UAF ซึ่งเป็นผลจากอุณหภูมิและระยะเวลากักพักชลศาสตร์

Karim และคณะ (2005) ศึกษาผลของการกวนผสมของของเหลวสำหรับการย่อยสลายแบบไร้อากาศของของเสียจากสัตว์ โดยทำการทดลองในถังปฏิกรณ์ 10 ถัง ใช้วิธีการกวนผสมของเหลวที่แตกต่างกันได้แก่ การกวนผสมด้วยแก๊สชีวภาพ การกวนผสมด้วยใบพัดและการกวนผสมด้วยการหมุนวนน้ำเสียภายในถัง โดยในการกวนแต่ละแบบจะศึกษาที่ระดับความเข้มข้นน้ำเสียของของแข็ง 2 ระดับคือที่ 5 เปอร์เซ็นต์ และ10 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นความเข้มข้นของแข็ง 3.08 และ 6.2 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 35±2 องศาเซลเซียส ค่าระยะเวลากักพักทางชลศาสตร์เป็น 16.2 วัน ผลการทดลองพบว่า การกวนผสมน้ำเสียไม่มีความจำเป็นสำหรับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของของแข็ง 5 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากในถังปฏิกรณ์ที่ไม่มีการกวนมีอัตราการผลิตแก๊สชีวภาพได้ใกล้เคียงกับถังปฏิกรณ์ที่มีการกวนด้วยวิธีต่างๆ โดยสามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้ 0.84-0.94 ลิตรต่อลิตรต่อวัน ส่วนน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของของแข็งสูงขึ้น เป็น 10 เปอร์เซ็นต์ พบว่าการกวนผสมมีความจำเป็นเนื่องจากในถังปฏิกรณ์ที่มีการกวนผสมด้วยแก๊สชีวภาพ การกวนผสมด้วยใบพัด และการกวนผสมด้วยการหมุนวนน้ำ พบว่ามีอัตราการผลิตแก๊สชีวภาพได้สูงกว่าถังที่ไม่มีการกวนผสมคิดเป็น 29, 22 และ15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังนั้นการกวนจึงจำเป็นสำหรับระบบบำบัดที่มีความเข้มข้นของของแข็งในน้ำเสียในปริมาณที่สูงๆ

Ndegwa และคณะ (2008) ศึกษาผลของความถี่ในการหมุนเวียนน้ำเสียและอุณหภูมิต่อการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศจากของเสียจากโรงงานสุกรโดยใช้ระบบเอเอสบีอาร์ (ASBRs) ทำการทดลองโดยใช้ปั้มสำหรับหมุนเวียนน้ำเสีย และเพิ่มความถี่ในการหมุนเวียนน้ำจาก 1 เป็น 3 ครั้งต่อวัน และเพิ่มอุณหภูมิจาก 20 เป็น 35 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่า การหมุนเวียนน้ำและการเพิ่มอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น จาก 1 เป็น 3 ครั้งต่อวันและ 20 เป็น 35 องศาเซลเซียส ส่งผลลบต่อเปอร์เซ็นต์ของแก๊สมีเทนในแก๊สชีวภาพ ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี และปริมาณแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้ ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิจาก 20 เป็น 35 องศาเซลเซียสและการเพิ่มการหมุนเวียนจาก 1 เป็น 3 ครั้งต่อวัน พบว่ามีผลทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยเกิดได้สูงขึ้น

Soon-An และคณะ (2005) ศึกษาผลของระบบเอสบีอาร์แบบใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจนในการบำบัดน้ำเสีย Orange II ผลจาก Specific Oxygen Uptake Rate (SOUR) แสดงให้เห็นถึงสารประกอบ Orange II ไม่มีความสำคัญต่อการยับยั้งความสามารถของแบคทีเรีย Activated Sludge ถูกพบว่า Orange II และ OLR มีผลต่อการบำบัดใน term ของซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด Orange II ในระบบเอสบีอาร์ การเพิ่มขึ้นของ OLR จาก 2.66-5.32 กรัมซีโอดีต่อลิตรต่อวัน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยมากกับประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในระบบ เอสบีอาร์แบบใช้ออกซิเจนแต่มีผลอย่างมากต่อการกำจัดซีโอดีในระบบเอสบีอาร์แบบไม่ใช้ออกซิเจน ในกรณีการเติม Orange II ทำให้ได้สัดส่วนการกำจัด Orange II 15 และ 80 % สำหรับระบบใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจนตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 รูปแบบการวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการที่ชั้น 1 ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยใช้แบบจำลองของระบบเอเอสบีอาร์ (anaerobic sequencing batch reactor : ASBR) เริ่มต้นระบบศึกษาจำนวนรอบเวลาเดินระบบ (cycle number) ที่ 1-4 รอบ โดยกำหนดให้แต่ละรอบเวลาเดินระบบเท่ากับ 1, 3, 5 และ 7 วัน ตามลำดับ ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที และอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร-วัน จากนั้นศึกษาความลาดชันความเร็วที่แตกต่างกันของถังปฏิกรณ์เท่ากับ 40, 60, 80 และ 100 ต่อวินาที และอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3, 2, 1 และ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร-วัน ที่กำหนดให้จำนวนรอบเวลาเดินระบบ (cycle number) ที่ 1-4 รอบ ซึ่งในแต่ละรอบเวลาเดินระบบเท่ากับ 1, 3, 5 และ 7 วัน ตามลำดับ เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างอันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความลาดชันความเร็วและอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ

น้ำเสียที่นำมาใช้ในการวิจัยในครั้งนี้เป็นน้ำเสียยางข้น จังหวัดตรัง และตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองนี้ได้มาจากโรงงานน้ำยางข้น ที่จังหวัดชลบุรี

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้

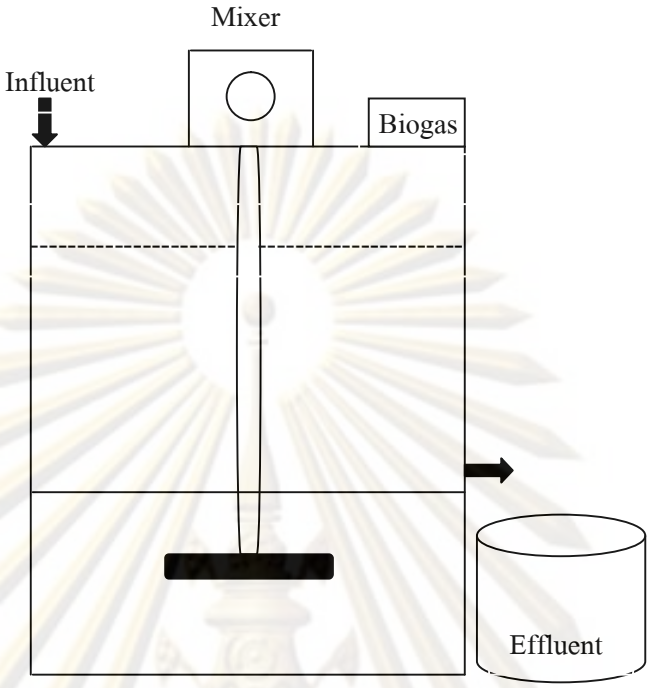
1. ถังปฏิกรณ์เอเอสบีอาร์ มีปริมาตรรวมขนาด 10 ลิตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร ส่วนสูงของถังปฏิกิริยาเท่ากับ 30 เซนติเมตร มีปริมาตรส่วนทำปฏิกิริยา 7.5 ลิตร

2. ระบบกวน ประกอบด้วยมอเตอร์เกียร์และใบพัด โดยจะต่อมอเตอร์เกียร์เข้ากับใบพัดเพื่อทำหน้าที่กวนน้ำในถังปฏิกิริยาให้เข้ากัน

3. ถังน้ำพลาสติก ขนาด 10 ลิตร จำนวน 8 ถัง ใช้สำหรับเป็นถังป้อนน้ำเสียเข้าระบบบำบัดและน้ำทิ้งจากระบบบำบัด

4. เครื่องวัดปริมาตรก๊าซ ประกอบด้วยอุปกรณ์วัดก๊าซ โดยใช้หลักการแทนที่น้ำ โดยมีกระบอกแทนที่น้ำบรรจุน้ำเต็มหลอด ทำการปรับพีเอชของน้ำให้ต่ำกว่า 3 เพื่อป้องกันการละลายน้ำของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยก๊าซที่เกิดขึ้นจะไปแทนที่น้ำที่บรรจุอยู่ในกระบอกแทนที่น้ำ ปริมาณก๊าซที่วัดได้คือ ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากระบบ

5. เครื่องมือวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสีย



ภาพที่ 3.1 แบบจำลองระบบเอเอสบีอาร์

3.3 วิธีดำเนินการทดลอง

3.3.1 ลักษณะของน้ำเสีย

น้ำเสียที่ใช้ในการวิจัยนี้จะใช้น้ำเสียยางข้น ซึ่งได้ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียมาบ้างแล้ว ลักษณะน้ำเสียยางข้น แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ลักษณะน้ำเสียยางข้น

พารามิเตอร์	ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด
พีเอช (pH)	4.74 - 5.18
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	26.2 - 28.5
ซีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	11,424 - 17,934
ซัลเฟต (มิลลิกรัมต่อลิตร)	1,036 - 1,738
ซัลไฟด์ทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	120 - 155
สภาพด่างทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	1,570 - 1,725
กรดไขมันระเหย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	3,535 - 4,063
ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	325 - 1,755

3.3.2 การเตรียมน้ำเสียยางข้น

ก่อนนำน้ำเสียเข้าระบบจะทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำก่อนเข้าระบบ แสดงดังตารางที่ 3.2 จากนั้นทำการเจือจางน้ำเสียโดยใช้น้ำประปาให้ได้ความเข้มข้นตามที่ต้องการในการทดลอง

3.3.3 เริ่มต้นระบบ (Start up)

3.3.3.1 ติดตั้งแบบจำลองระบบเอเอสบีอาร์ที่ใช้การทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ติดตั้งมอเตอร์และใบกวนสำหรับกวนขนาด 8*4 เซนติเมตร มีท่อน้ำเข้า-ออก และท่อสำหรับเก็บแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นภายในระบบ แสดงดังภาพที่ 3.1

3.3.3.2 ทดสอบระบบด้วยน้ำสะอาด ทดลองเริ่มเดินระบบ 2-3 วัน เพื่อตรวจสอบหารอยรั่วซึมของถังปฏิกรณ์และตรวจเช็คข้อบกพร่องของอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อจะได้ทำการแก้ไขก่อนที่จะทำการทดลองด้วยน้ำเสียจริง

3.3.3.3 เติมเชื้อตะกอนจุลินทรีย์ปริมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรทั้งหมดของถังปฏิกรณ์เอเอสบีอาร์ที่ใช้ในการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ ทำการทดลองจำนวนรอบเวลาเดินระบบ (cycle number)ที่ 1-4 รอบ ซึ่งในแต่ละรอบเวลาเดินระบบเท่ากับ 1, 3, 5 และ 7 วัน ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที และอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร-วัน

จากนั้นศึกษาความลาดชันความเร็วที่แตกต่างกันของถังปฏิกรณ์เท่ากับ 40, 60, 80 และ 100 ต่อวินาที และอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3, 2, 1 และ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร-วัน ที่กำหนดให้จำนวนรอบเวลาเดินระบบ (cycle number) ที่ 1-4 รอบ ซึ่งในแต่ละรอบเวลาเดินระบบเท่ากับ 1, 3, 5 และ 7 วัน ตามลำดับ เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างอันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความลาดชันความเร็วและอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
พีเอช (pH)	pH Meter
อุณหภูมิ (Temperature)	Thermometer
ซีโอดี (COD)	Close Reflux
ซัลเฟต (Sulfate)	Turbidimetric Method
ซัลไฟด์ทั้งหมด (Sulfide)	Iodometric Method
ของแข็งแขวนลอย (Suspended solid)	กรองด้วยกระดาษ GF/C
ปริมาณก๊าซทั้งหมด	วัดปริมาณก๊าซแบบแทนที่น้ำ
เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน	GC (Gas Chromatography)

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

เปรียบเทียบความแตกต่างอันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงค่าความลาดชันความเร็วและอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์โดยใช้สถิติในการวิเคราะห์คือ F-test

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลการวิจัย

4.1.1 ผลการศึกษาการบำบัดน้ำเสียยางข้นโดยระบบเอเอสบีอาร์

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีกับจำนวนรอบเวลาเดินระบบ (cycle number) ที่ 1-4 รอบ โดยกำหนดให้แต่ละรอบเวลาเดินระบบเท่ากับ 1, 3, 5 และ 7 วัน ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที และอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน

4.1.1.1 จำนวนรอบเวลาเดินระบบ (cycle number)

จำนวนรอบเวลาเดินระบบของน้ำเสียยางข้น ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน และความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที โดยกำหนดให้แต่ละรอบเวลาเดินระบบเท่ากับ 1, 3, 5 และ 7 วัน ตามลำดับ สำหรับค่าซีโอดีน้ำเข้าระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3,976 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนค่าซีโอดีของน้ำออกจากระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 876, 772, 677 และ 581 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 77.91, 80.59, 82.97 และ 85.22 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จำนวนรอบเวลาเดินระบบของการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.1–4.2

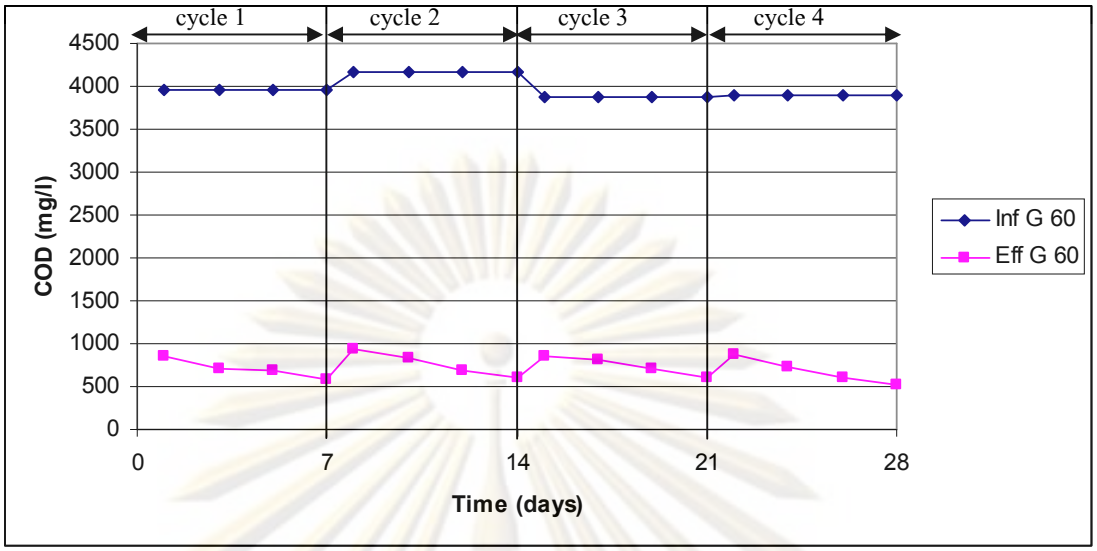
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 จำนวนรอบเวลาเดินระบบของการทดลอง

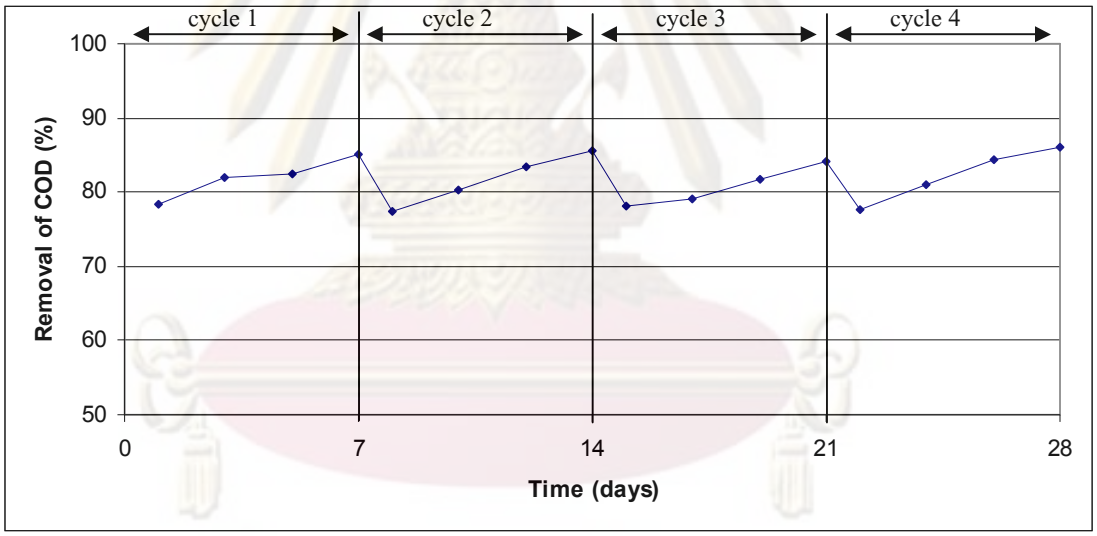
ความลาดชันความเร็ว (ต่อวินาที)	ซีโอดี	ซีโอดี (น้ำเข้า)	ซีโอดี (น้ำออก) (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
			1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
60	ค่าต่ำสุด	3,872	844	714	614	514
	ค่าสูงสุด	4,174	947	826	708	613
	ค่าเฉลี่ย	3,976	876	772	677	581
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	77.91	80.59	82.97	85.22

จากตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.1 – 4.2 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีกับจำนวนรอบเวลาเดินระบบของถังปฏิกรณ์ โดยกำหนดให้แต่ละรอบเวลาเดินระบบเท่ากับ 1, 3, 5 และ 7 วัน ตามลำดับ พบว่า มีปริมาณซีโอดีในน้ำเข้าระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3,976 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณซีโอดีของน้ำออกจากระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 876, 772, 677 และ 581 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 77.91, 80.59, 82.97 และ 85.22 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งทุกๆ จำนวนรอบเวลาเดินระบบ จะเห็นได้ว่าจำนวนรอบเวลาเดินระบบมีทิศทางหรือแนวโน้มไปในแนวทางเดียวกัน โดยพบว่าระบบอยู่ในสภาวะคงที่ (Steady State) จากผลการทดลองระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ 7 วัน มากกว่า 1, 3 และ 5 วัน ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากระยะเวลามากขึ้น จึงทำให้จุลินทรีย์มีระยะเวลาเพียงพอต่อการย่อยสลายสารอาหาร จึงทำให้ความสกปรกในรูปซีโอดีในน้ำเสียถูกย่อยสลายไปได้มากกว่าที่1, 3 และ 5 วัน ตามลำดับ และเนื่องจากที่ 1, 3 และ 5 วัน มีระยะเวลาในการให้จุลินทรีย์สัมผัสกับน้ำเสียได้น้อย ทำให้สารอินทรีย์ในน้ำเสียถูกย่อยสลายได้น้อย จึงทำให้การปล่อยสารต่าง ๆ และเกิดการย่อยสลายสารอาหารได้น้อยลง เป็นผลทำให้ระยะเวลามีผลต่อการกำจัดซีโอดี ดังนั้นประสิทธิภาพการกำจัดของระบบมากขึ้น เมื่อระยะเวลามากขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.1 ปริมาณซีโอดีของการทดลอง (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)



ภาพที่ 4.2 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของการทดลองที่มีอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.2 ผลการศึกษาการบำบัดน้ำเสียยางข้นโดยระบบเอเอสบีอาร์

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลของความลาดชันความเร็วและอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่อการบำบัดน้ำเสียยางข้น โดยใช้ระบบเอเอสบีอาร์ กำหนดให้จำนวนรอบเวลาเดินระบบ (cycle number) ที่ 1-4 รอบ ซึ่งในแต่ละรอบเวลาเดินระบบเท่ากับ 1, 3, 5 และ 7 วัน ตามลำดับ โดยมีความลาดชันความเร็ว 40, 60, 80 และ 100 ต่อวินาที และอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3, 2, 1 และ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน

4.1.2.1 พีเอช (pH)

ค่าพีเอชของน้ำเสียยางข้นที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ความลาดชันความเร็ว 40, 60, 80 และ 100 ต่อวินาที ซึ่งแต่ละจำนวนรอบเวลาเดินระบบเท่ากับ 1, 3, 5 และ 7 วัน ตามลำดับ สำหรับค่าพีเอชน้ำเข้าระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.01 ส่วนค่าพีเอชของน้ำออกจากระบบที่ความลาดชันความเร็ว 40 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.72, 7.47, 7.71 และ 7.80 ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.68, 7.57, 7.57, 7.78 ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 80 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.62, 7.49, 7.80 และ 8.14 ตามลำดับ และที่ความลาดชันความเร็ว 100 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.67, 7.51, 7.82 และ 8.04 ตามลำดับ

ค่าพีเอชของน้ำเสียยางข้นที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ความลาดชันความเร็ว 40, 60, 80 และ 100 ต่อวินาที ซึ่งแต่ละจำนวนรอบเวลาเดินระบบเท่ากับ 1, 3, 5 และ 7 วัน ตามลำดับ สำหรับค่าพีเอชน้ำเข้าระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.00 ส่วนค่าพีเอชของน้ำออกจากระบบที่ความลาดชันความเร็ว 40 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.16, 6.74, 8.01 และ 8.43 ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.62, 7.27, 7.48 และ 7.60 ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 80 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.47, 7.19, 7.60 และ 7.80 ตามลำดับ และที่ความลาดชันความเร็ว 100 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.20, 7.05, 7.71 และ 8.21 ตามลำดับ

ค่าพีเอชน้ำเข้าของน้ำเสียยางข้นที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ความลาดชันความเร็ว 40, 60, 80 และ 100 ต่อวินาที ซึ่งแต่ละจำนวนรอบเวลาเดินระบบเท่ากับ 1, 3, 5 และ 7 วัน ตามลำดับ สำหรับค่าพีเอชน้ำเข้าระบบ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.04 ส่วนค่าพีเอชของน้ำออกจากระบบที่ความลาดชันความเร็ว 40 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.20, 7.09, 7.84 และ 8.36 ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.57, 7.26, 7.56 และ 7.73 ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 80 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.65, 7.24, 7.65 และ 7.92 ตามลำดับ และที่ความลาดชันความเร็ว 100 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.43, 7.37, 7.93 และ 8.32 ตามลำดับ

และค่าพีเอชน้ำเข้าของน้ำเสียยางข้นที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 กิโลกรัม ซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ความลาดชันความเร็ว 40, 60, 80 และ 100 ต่อวินาที ซึ่งแต่ละจำนวนรอบเวลาเดินระบบเท่ากับ 1, 3, 5 และ 7 วัน ตามลำดับ สำหรับค่าพีเอชน้ำเข้าระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.96 ส่วนค่าพีเอชของน้ำออกจากระบบที่ความลาดชันความเร็ว 40 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.16, 6.81, 7.82 และ 8.66 ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.66, 7.24, 7.55 และ 7.87 ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 80 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.41, 7.19, 7.61 และ 8.15 ตามลำดับ และที่ความลาดชันความเร็ว 100 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.28, 7.30, 7.83 และ 8.34 ตามลำดับ ค่าพีเอชแสดงดังตารางที่ 4.2 – 4.5 และภาพที่ 4.3 – 4.6

ตารางที่ 4.2 ค่าพีเอช (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ความลาดชันความเร็ว (ต่อวินาที)	พีเอช	พีเอช (น้ำเข้า)	พีเอช (น้ำออก)			
			1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40	ค่าต่ำสุด	4.87	6.51	7.09	7.36	7.72
	ค่าสูงสุด	5.16	7.01	8.2	8.26	7.92
	ค่าเฉลี่ย	5.01	6.72	7.47	7.71	7.8
60	ค่าต่ำสุด	4.87	6.53	7.02	7.08	7.27
	ค่าสูงสุด	5.16	6.87	8.43	8.05	8.15
	ค่าเฉลี่ย	5.01	6.68	7.57	7.57	7.78
80	ค่าต่ำสุด	4.87	6.5	7.21	7.54	7.78
	ค่าสูงสุด	5.16	6.79	8.01	8.22	8.53
	ค่าเฉลี่ย	5.01	6.62	7.49	7.8	8.14
100	ค่าต่ำสุด	4.87	6.48	7.12	7.5	7.82
	ค่าสูงสุด	5.16	6.93	8.19	8.35	8.38
	ค่าเฉลี่ย	5.01	6.67	7.51	7.82	8.04

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 ค่าพีเอช (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ความลาดชันความเร็ว (ต่อวินาที)	พีเอช	พีเอช (น้ำเข้า)	พีเอช (น้ำออก)			
			1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40	ค่าต่ำสุด	4.78	6.06	6.41	7.73	8.34
	ค่าสูงสุด	5.18	6.23	7.02	8.27	8.55
	ค่าเฉลี่ย	5.00	6.16	6.74	8.01	8.43
60	ค่าต่ำสุด	4.78	6.51	7.18	7.36	7.42
	ค่าสูงสุด	5.18	6.72	7.39	7.62	7.78
	ค่าเฉลี่ย	5.00	6.62	7.27	7.48	7.60
80	ค่าต่ำสุด	4.78	6.39	7.02	7.43	7.67
	ค่าสูงสุด	5.18	6.52	7.35	7.77	7.98
	ค่าเฉลี่ย	5.00	6.47	7.19	7.60	7.80
100	ค่าต่ำสุด	4.78	6.02	6.97	7.53	8.06
	ค่าสูงสุด	5.18	6.34	7.14	7.83	8.38
	ค่าเฉลี่ย	5.00	6.20	7.05	7.71	8.21

ตารางที่ 4.4 ค่าพีเอช (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ความลาดชันความเร็ว (ต่อวินาที)	พีเอช	พีเอช (น้ำเข้า)	พีเอช (น้ำออก)			
			1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40	ค่าต่ำสุด	4.76	6.06	6.49	7.65	8.12
	ค่าสูงสุด	5.24	6.39	7.71	8.12	8.56
	ค่าเฉลี่ย	5.04	6.20	7.09	7.84	8.36
60	ค่าต่ำสุด	4.76	6.45	7.03	7.45	7.64
	ค่าสูงสุด	5.24	6.72	7.43	7.67	7.83
	ค่าเฉลี่ย	5.04	6.57	7.26	7.56	7.73
80	ค่าต่ำสุด	4.76	6.24	7.12	7.54	7.81
	ค่าสูงสุด	5.24	6.98	7.34	7.78	8.03
	ค่าเฉลี่ย	5.04	6.65	7.24	7.65	7.92
100	ค่าต่ำสุด	4.76	6.22	7.18	7.59	8.03
	ค่าสูงสุด	5.24	6.67	7.54	8.16	8.55
	ค่าเฉลี่ย	5.04	6.43	7.37	7.93	8.32

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 ค่าพีเอช (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

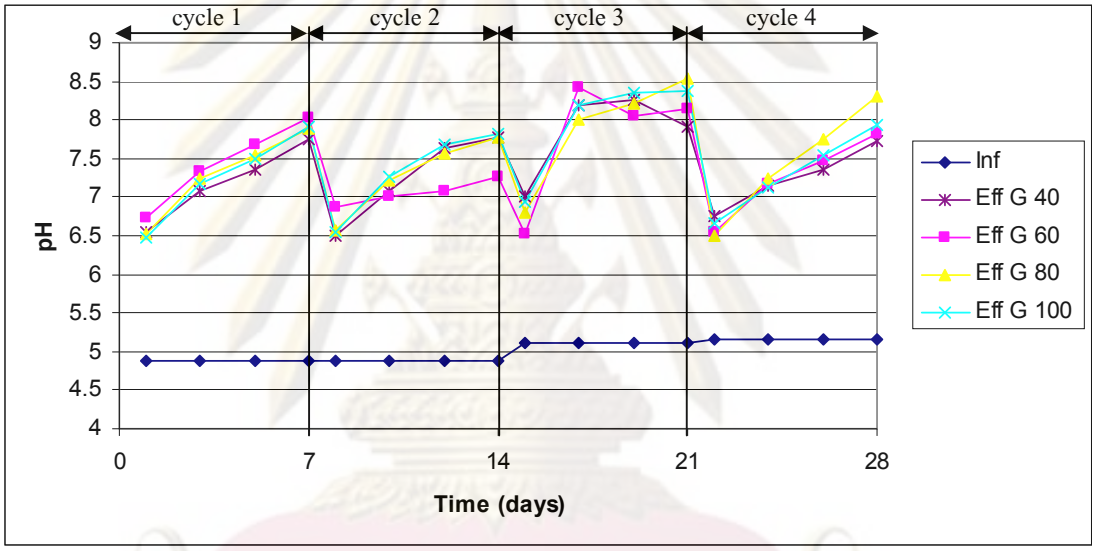
ความลาดชันความเร็ว (ต่อวินาที)	พีเอช	พีเอช (น้ำเข้า)	พีเอช (น้ำออก)			
			1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40	ค่าต่ำสุด	4.78	6.07	6.45	7.71	8.46
	ค่าสูงสุด	5.15	6.27	7.19	7.96	8.89
	ค่าเฉลี่ย	4.96	6.16	6.81	7.82	8.66
60	ค่าต่ำสุด	4.78	6.42	7.14	7.39	7.65
	ค่าสูงสุด	5.15	6.89	7.34	7.65	8.18
	ค่าเฉลี่ย	4.96	6.66	7.24	7.55	7.87
80	ค่าต่ำสุด	4.78	6.35	7.08	7.46	7.97
	ค่าสูงสุด	5.15	6.48	7.32	7.76	8.44
	ค่าเฉลี่ย	4.96	6.41	7.19	7.61	8.15
100	ค่าต่ำสุด	4.78	6.21	7.07	7.75	8.14
	ค่าสูงสุด	5.15	6.33	7.56	7.94	8.68
	ค่าเฉลี่ย	4.96	6.28	7.30	7.83	8.34

จากตารางที่ 4.2 – 4.5 และภาพที่ 4.3 - 4.6 จะเห็นได้ว่าค่าพีเอชน้ำออกจากระบบเฉลี่ยมีค่าสูงกว่าค่าพีเอชน้ำเข้าระบบ การที่พีเอชน้ำออกจากระบบมีค่าเฉลี่ยเพิ่มมากขึ้นนั้น เนื่องมาจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยพวกแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตในกระบวนการซัลเฟตรีดักชั่น ซึ่งจะมีการนำไฮโดรเจนอิออน (H^+) ไปใช้ในปฏิกิริยาเพื่อเปลี่ยนซัลเฟตให้เป็นซัลไฟด์ (S^{2-}) สมการการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวแสดงดังนี้

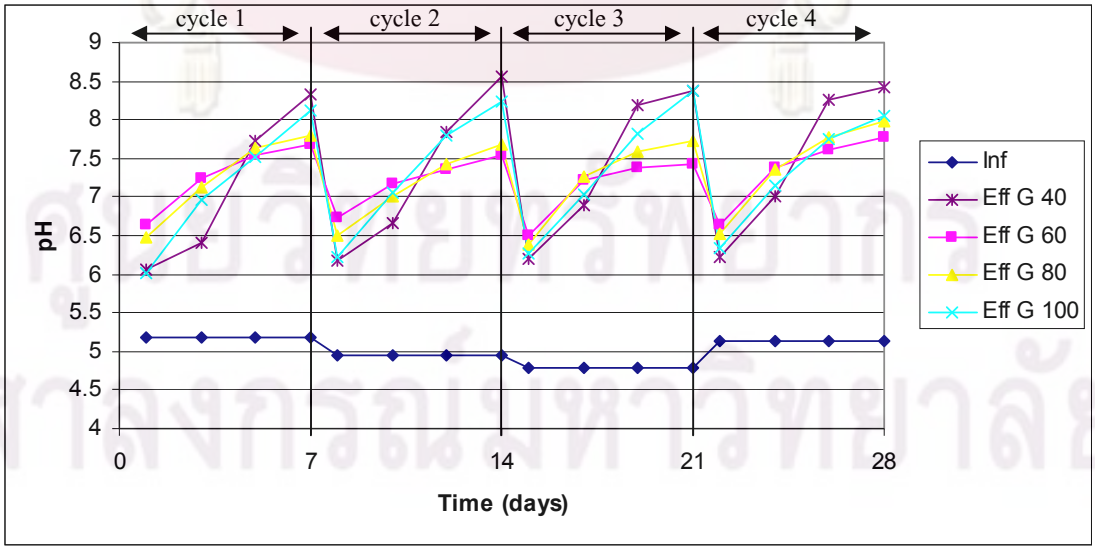
$$SO_4^{2-} + 10H^+ \longrightarrow H_2S\,(g) + 4H_2O$$

การนำเอาไฮโดรเจนอิออน (H^+) ไปใช้ และการเกิดไฮดรอกไซด์อิออน (OH^-) จะทำให้ในระบบมีสภาพความเป็นกรดลดลง จึงทำให้พีเอชของระบบสูงขึ้นได้ และจากการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าพีเอชของน้ำที่ออกจากระบบอยู่ในช่วงที่ไม่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนคือ ช่วง 6.6 – 7.6 แต่เมื่อพิจารณาจากอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างในระบบก็มีค่าต่ำ โดยที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน มีอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดในระบบของความลาดชันความเร็ว 40, 60, 80 และ 100 ตามลำดับ ที่มีจำนวนรอบเวลาเดินระบบ 1-4 รอบ มีค่าเป็น 0.20, 0.15, 0.35 และ 0.22 ตามลำดับ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน) มีอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดในระบบของความลาดชันความเร็ว 40, 60, 80 และ 100 ตามลำดับ ที่มีจำนวนรอบเวลาเดินระบบ 1-4 รอบ มีค่าเป็น 0.20, 0.15, 0.35 และ

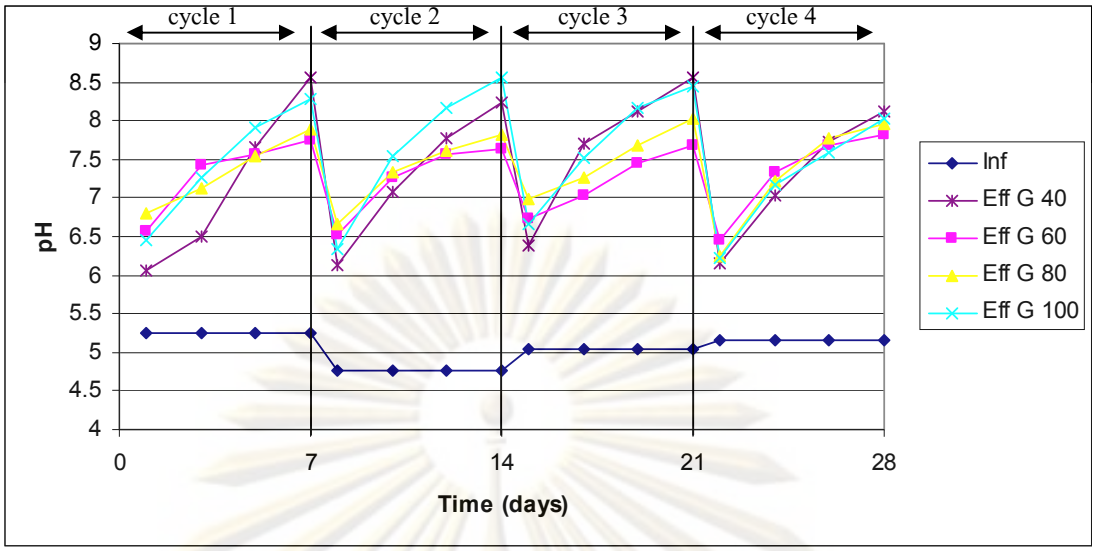
0.23 ตามลำดับ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน) มีอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดในระบบของความลาดชันความเร็ว 40, 60, 80 และ 100 ตามลำดับ ที่มีจำนวนรอบเวลาเดินระบบ 1-4 รอบ มีค่าเป็น 0.45, 0.42, 0.55 และ 0.37 ตามลำดับ และที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน) มีอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดในระบบของความลาดชันความเร็ว 40, 60, 80 และ 100 ตามลำดับ ที่มีจำนวนรอบเวลาเดินระบบ 1-4 รอบ มีค่าเป็น 0.29, 0.75, 0.43 และ 0.38 ตามลำดับ ซึ่งในทุกๆ อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์จะเห็นได้ว่าที่ความลาดชันความเร็ว 40, 60, 80 และ 100 ตามลำดับ ที่มีจำนวนรอบเวลาเดินระบบ 1-4 รอบ มีค่าอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพทั้งหมดมีค่าน้อยกว่า 0.4 และไม่เกิน 0.8 แสดงว่าระบบมีกำลังบัฟเฟอร์ที่สูง



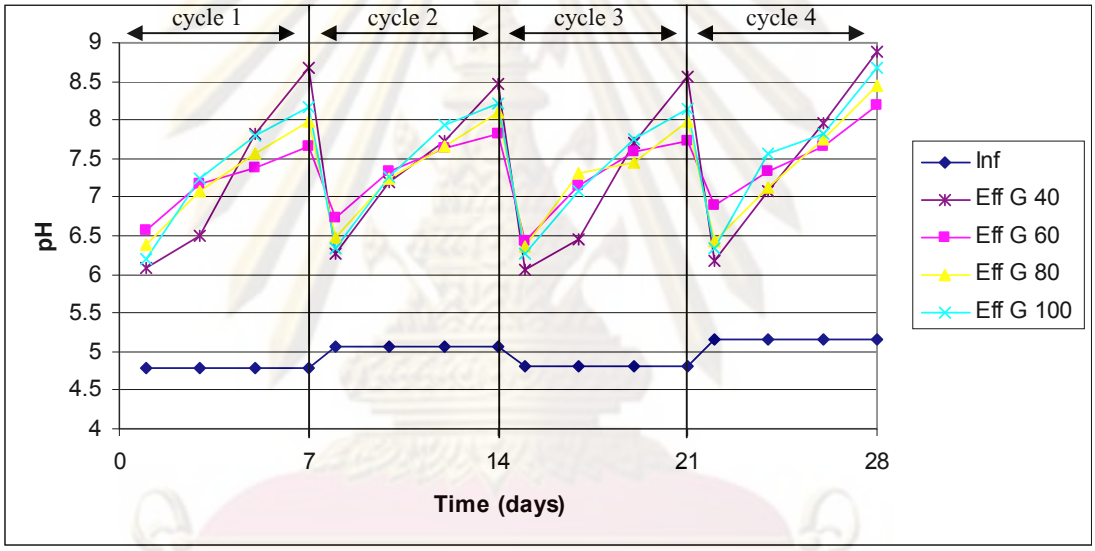
ภาพที่ 4.3 ค่าพีเอช (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)



ภาพที่ 4.4 ค่าพีเอช (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)



ภาพที่ 4.5 ค่าพีเอช (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)



ภาพที่ 4.6 ค่าพีเอช (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

4.1.2.2 อุณหภูมิ (Temperature)

ค่าอุณหภูมิของน้ำเสียยางข้นที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ความลาดชันความเร็ว 40, 60, 80 และ 100 ต่อวินาที ซึ่งแต่ละจำนวนรอบเวลาเดินระบบเท่ากับ 1, 3, 5 และ 7 วัน ตามลำดับ สำหรับค่าอุณหภูมิน้ำเข้าระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 26.9 องศาเซลเซียส ส่วนค่าอุณหภูมิของน้ำออกจากระบบที่ความลาดชันความเร็ว 40 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 26.8, 26.7, 26.6 และ 26.7 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 27.2, 27.0, 26.8 และ 26.7 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 80 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 26.9, 27, 27.2 และ 26.5 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และที่

ความลาดชันความเร็ว 100 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 27.1, 26.8, 26.7 และ 27.0 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

ค่าอุณหภูมิของน้ำเสียยางข้นที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ความลาดชันความเร็ว 40, 60, 80 และ 100 ต่อวินาที ซึ่งแต่ละจำนวนรอบเวลาเดินระบบเท่ากับ 1, 3, 5 และ 7 วัน ตามลำดับ สำหรับค่าอุณหภูมิน้ำเข้าระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 26.1 องศาเซลเซียส ส่วนค่าอุณหภูมิของน้ำออกจากระบบที่ความลาดชันความเร็ว 40 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 26.1, 26.1, 26.1 และ 26.2 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 26.0, 26.2, 26.1 และ 26.2 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 80 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 26.1, 26.2, 26.2 และ 26.1 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และที่ความลาดชันความเร็ว 100 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 26.2, 26.2, 26.1 และ 26.1 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

ค่าอุณหภูมิของน้ำเสียยางข้นที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ความลาดชันความเร็ว 40, 60, 80 และ 100 ต่อวินาที ซึ่งแต่ละจำนวนรอบเวลาเดินระบบเท่ากับ 1, 3, 5 และ 7 วัน ตามลำดับ สำหรับค่าอุณหภูมิน้ำเข้าระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 27.6 องศาเซลเซียส ส่วนค่าอุณหภูมิของน้ำออกจากระบบที่ความลาดชันความเร็ว 40 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 27.2, 28.0, 28.0 และ 28.2 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 27.4, 28.0, 28.0 และ 28.2 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 80 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 27.1, 28.0, 28.1 และ 28.1 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และที่ความลาดชันความเร็ว 100 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 27.3, 28.0, 28.0 และ 28.2 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

และค่าอุณหภูมิของน้ำเสียยางข้นที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ความลาดชันความเร็ว 40, 60, 80 และ 100 ต่อวินาที ซึ่งแต่ละจำนวนรอบเวลาเดินระบบเท่ากับ 1, 3, 5 และ 7 วัน ตามลำดับ สำหรับค่าอุณหภูมิน้ำเข้าระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.9 องศาเซลเซียส ส่วนค่าอุณหภูมิของน้ำออกจากระบบที่ความลาดชันความเร็ว 40 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.9, 29.9, 29.9 และ 29.9 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.9, 29.9, 29.9 และ 30.1 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 80 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.9, 29.8, 29.8 และ 29.8 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และที่ความลาดชันความเร็ว 100 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30.0, 29.9, 29.8 และ 30.1 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ค่าอุณหภูมิแสดงดังตารางที่ 4.6 – 4.9 และภาพที่ 4.7 – 4.10

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.6 ค่าอุณหภูมิ (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ความลาดชันความเร็ว (ต่อวินาที)	อุณหภูมิ	อุณหภูมิ (น้ำเข้า)	อุณหภูมิ (น้ำออก) (องศาเซลเซียส)			
			1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40	ค่าต่ำสุด	26.3	26.3	26.1	25.7	25.3
	ค่าสูงสุด	27.5	27.2	27.2	27.5	27.8
	ค่าเฉลี่ย	26.9	26.8	26.7	26.6	26.7
60	ค่าต่ำสุด	26.3	26.8	26.5	26.1	25.9
	ค่าสูงสุด	27.5	27.8	27.5	27.7	27.4
	ค่าเฉลี่ย	26.9	27.2	27.0	26.8	26.7
80	ค่าต่ำสุด	26.3	26.2	25.8	26.3	26.0
	ค่าสูงสุด	27.5	27.5	27.9	28.1	27.2
	ค่าเฉลี่ย	26.9	26.9	27.0	27.2	26.5
100	ค่าต่ำสุด	26.3	26.5	26.8	25.8	26.4
	ค่าสูงสุด	27.5	28.1	27.0	27.9	28.2
	ค่าเฉลี่ย	26.9	27.1	26.8	26.7	27.0

ตารางที่ 4.7 ค่าอุณหภูมิ(อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ2กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ความลาดชันความเร็ว (ต่อวินาที)	อุณหภูมิ	อุณหภูมิ (น้ำเข้า)	อุณหภูมิ (น้ำออก) (องศาเซลเซียส)			
			1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40	ค่าต่ำสุด	24.9	25.2	25.0	25.1	25.2
	ค่าสูงสุด	27.5	27.4	27.3	27.2	27.4
	ค่าเฉลี่ย	26.1	26.1	26.1	26.1	26.2
60	ค่าต่ำสุด	24.9	25.0	25.2	24.8	25.1
	ค่าสูงสุด	27.5	27.3	27.5	27.3	27.4
	ค่าเฉลี่ย	26.1	26.0	26.2	26.1	26.2
80	ค่าต่ำสุด	24.9	25.2	25.0	25.1	25.0
	ค่าสูงสุด	27.5	27.4	27.3	27.2	27.5
	ค่าเฉลี่ย	26.1	26.1	26.2	26.2	26.1
100	ค่าต่ำสุด	24.9	25.2	25.1	25.1	24.9
	ค่าสูงสุด	27.5	27.3	27.4	27.3	27.4
	ค่าเฉลี่ย	26.1	26.2	26.2	26.1	26.1

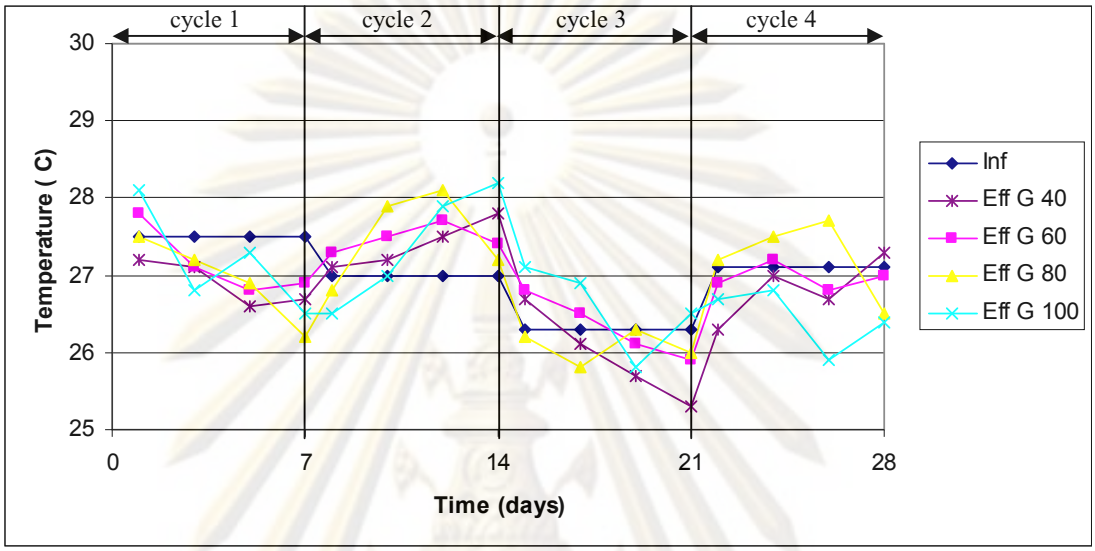
ตารางที่ 4.8 ค่าอุณหภูมิ (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ความลาดชันความเร็ว (ต่อวินาที)	อุณหภูมิ	อุณหภูมิ (น้ำเข้า)	อุณหภูมิ (น้ำออก) (องศาเซลเซียส)			
			1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40	ค่าต่ำสุด	26.2	25.4	27.1	26.2	27.2
	ค่าสูงสุด	28.5	28.4	28.6	29.2	29.3
	ค่าเฉลี่ย	27.6	27.2	28	28	28.2
60	ค่าต่ำสุด	26.2	25.7	27.1	26	27.3
	ค่าสูงสุด	28.5	28.7	28.5	29.1	29.3
	ค่าเฉลี่ย	27.6	27.4	28	28	28.2
80	ค่าต่ำสุด	26.2	25.3	27	26.2	27.1
	ค่าสูงสุด	28.5	28.5	28.6	29.4	29.1
	ค่าเฉลี่ย	27.6	27.1	28	28.1	28.1
100	ค่าต่ำสุด	26.2	25.7	27.2	26.1	27.2
	ค่าสูงสุด	28.5	28.5	28.5	29.3	29.3
	ค่าเฉลี่ย	27.6	27.3	28	28	28.2

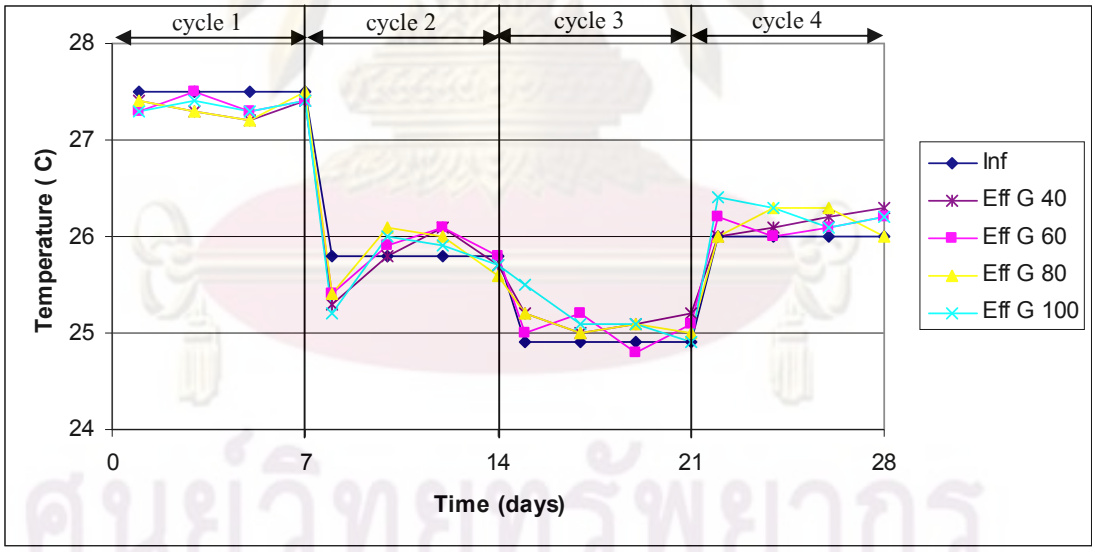
ตารางที่ 4.9 ค่าอุณหภูมิ (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ความลาดชันความเร็ว (ต่อวินาที)	อุณหภูมิ	อุณหภูมิ (น้ำเข้า)	อุณหภูมิ (น้ำออก) (องศาเซลเซียส)			
			1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40	ค่าต่ำสุด	29.3	29.3	29.1	29.3	29.4
	ค่าสูงสุด	30.4	30.3	30.4	30.4	30.4
	ค่าเฉลี่ย	29.9	29.9	29.9	29.9	29.9
60	ค่าต่ำสุด	29.3	29.5	29.4	29.2	29.5
	ค่าสูงสุด	30.4	30.3	30.3	30.4	30.4
	ค่าเฉลี่ย	29.9	29.9	29.9	29.9	30.1
80	ค่าต่ำสุด	29.3	29.3	29.1	29.1	29.1
	ค่าสูงสุด	30.4	30.3	30.3	30.4	30.3
	ค่าเฉลี่ย	29.9	29.9	29.8	29.8	29.8
100	ค่าต่ำสุด	29.3	29.4	29.3	29	29.4
	ค่าสูงสุด	30.4	30.4	30.3	30.3	30.4
	ค่าเฉลี่ย	29.9	30	29.9	29.8	30.1

จากตารางที่ 4.6 – 4.9 และภาพที่ 4.7 – 4.10 จะเห็นได้ว่าค่าอุณหภูมิน้ำออกจากระบบเฉลี่ยที่ความลาดชันความเร็ว 40, 60, 80 และ 100 ต่อวินาที มีค่าอุณหภูมิที่ถังปฏิกรณ์ทำงานมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งในทุกๆ อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ค่าอุณหภูมิดังกล่าวอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน คือ อยู่ในช่วงมีโซฟิลิค (Mesophilic) ที่มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 20 – 45 องศาเซลเซียส

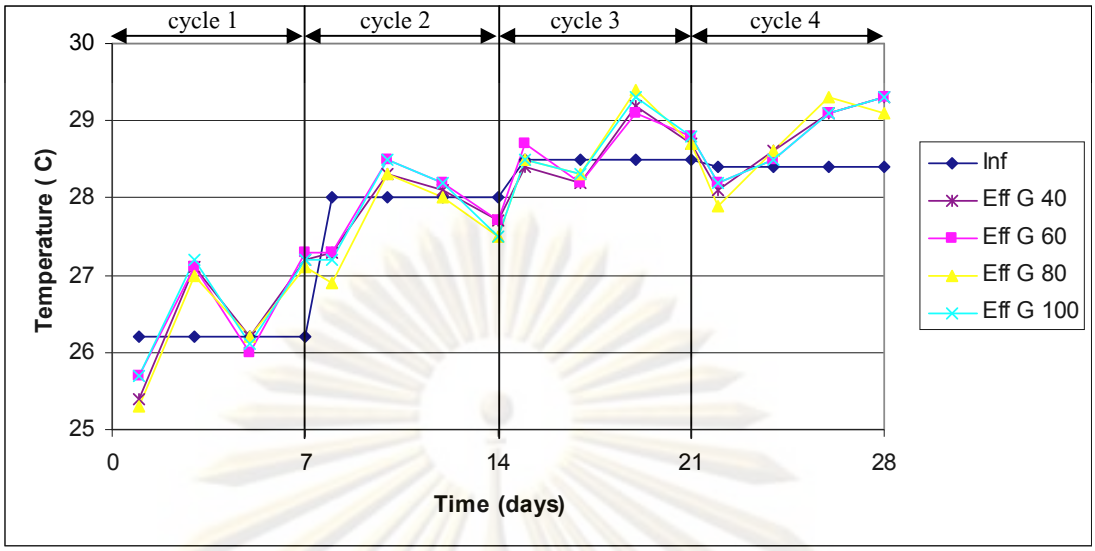


ภาพที่ 4.7 ค่าอุณหภูมิ (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

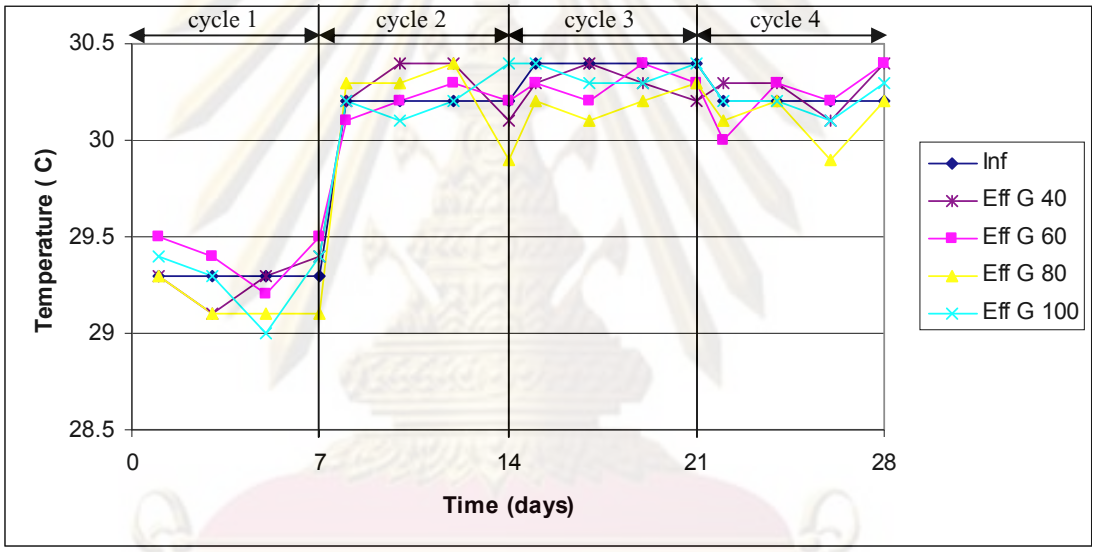


ภาพที่ 4.8 ค่าอุณหภูมิ (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.9 ค่าอุณหภูมิ (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)



ภาพที่ 4.10 ค่าอุณหภูมิ (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.2.3 ของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัด

ปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียยางข้นที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ความลาดชันความเร็ว 40, 60, 80 และ 100 ต่อวินาที ซึ่งแต่ละจำนวนรอบเวลาเดินระบบเท่ากับ 1, 3, 5 และ 7 วัน ตามลำดับ สำหรับค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยน้ำเข้าระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 516 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำออกจากระบบที่ความลาดชันความเร็ว 40 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 161, 134, 117 และ 101 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 68.74, 74.01, 77.16 และ 80.36 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 71, 31, 29 และ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 86.20, 93.91, 94.39 และ 96.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 80 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 96, 64, 52 และ 37 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 81.23, 87.53, 89.76 และ 92.72 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และที่ความลาดชันความเร็ว 100 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 112, 99, 83 และ 68 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 78.14, 80.65, 83.81 และ 86.72 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียยางข้นที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ความลาดชันความเร็วเท่ากับ 40, 60, 80 และ 100 ต่อวินาที ซึ่งแต่ละจำนวนรอบเวลาเดินระบบเท่ากับ 1, 3, 5 และ 7 วัน ตามลำดับ สำหรับค่าของแข็งแขวนลอย น้ำเข้าระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 256 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำออกจากระบบที่ความลาดชันความเร็ว 40 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 61, 58, 51 และ 44 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 75.98, 77.44, 80.09 และ 82.47 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 32, 20, 15 และ 9 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 87.35, 92.13, 94.28 และ 96.62 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 80 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 41, 29, 24 และ 17 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 83.73, 88.56, 90.77 และ 93.30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และที่ความลาดชันความเร็ว 100 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 52, 46, 38 และ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 79.82, 81.98, 85.18 และ 88.10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียยางข้นที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ความลาดชันความเร็วเท่ากับ 40, 60, 80 และ 100 ต่อวินาที ซึ่งแต่ละจำนวนรอบเวลาเดินระบบเท่ากับ 1, 3, 5 และ 7 วัน ตามลำดับสำหรับค่าของแข็งแขวนลอย

น้ำเข้าระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 67 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำออกจากระบบที่ความลาดชันความเร็ว 40 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 17, 16, 12 และ 9 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 73.95, 76.34, 81.59 และ 86.14 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9, 7, 6 และ 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 86.68, 90.60, 92.28 และ 94.21 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 80 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12, 9, 7 และ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 81.59, 86.50, 89.41 และ 92.73 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และที่ความลาดชันความเร็ว 100 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 15, 12, 10 และ 8 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 77.01, 82.45, 85.43 และ 88.60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

และค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียยางข้นที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ความลาดชันความเร็วเท่ากับ 40, 60, 80 และ 100 ต่อวินาที ซึ่งแต่ละจำนวนรอบเวลาเดินระบบเท่ากับ 1, 3, 5 และ 7 วัน ตามลำดับ สำหรับค่าของแข็งแขวนลอยน้ำเข้าระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำออกจากระบบที่ความลาดชันความเร็ว 40 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7, 6, 5 และ 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 73.63, 76.95, 80.01 และ 84.19 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4, 4, 3 และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 84.46, 86.38, 89.70 และ 95.01 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 80 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6, 4, 4 และ 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 79.48, 84.46, 87.24 และ 90.03 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และที่ความลาดชันความเร็ว 100 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6, 5, 4 และ 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 78.09, 81.40, 84.46 และ 88.64 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยแสดงดังตารางที่ 4.10 – 4.13 และภาพที่ 4.11 - 4.18

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.10 ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ความลาดชันความเร็ว (ต่อวินาที)	ของแข็งแขวนลอย	(น้ำเข้า)	ของแข็งแขวนลอย (น้ำออก) (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
			1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40	ค่าต่ำสุด	502	152	129	111	99
	ค่าสูงสุด	524	168	139	124	103
	ค่าเฉลี่ย	516	161	134	117	101
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	68.74	74.01	77.16	80.36
60	ค่าต่ำสุด	502	59	19	17	9
	ค่าสูงสุด	524	78	39	37	28
	ค่าเฉลี่ย	516	71	31	29	20
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	86.20	93.91	94.39	96.00
80	ค่าต่ำสุด	502	93	61	51	35
	ค่าสูงสุด	524	101	66	55	40
	ค่าเฉลี่ย	516	96	64	52	37
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	81.23	87.53	89.76	92.72
100	ค่าต่ำสุด	502	104	94	77	63
	ค่าสูงสุด	524	121	107	91	74
	ค่าเฉลี่ย	516	112	99	83	68
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	78.14	80.65	83.81	86.72

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.11 ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ความลาดชันความเร็ว (ต่อวินาที)	ของแข็งแขวนลอย	(น้ำเข้า)	ของแข็งแขวนลอย (น้ำออก) (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
			1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40	ค่าต่ำสุด	230	56	52	45	37
	ค่าสูงสุด	280	66	62	55	49
	ค่าเฉลี่ย	256	61	58	51	44
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	75.98	77.44	80.09	82.47
60	ค่าต่ำสุด	230	26	15	11	6
	ค่าสูงสุด	280	37	25	18	12
	ค่าเฉลี่ย	256	32	20	15	9
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	87.35	92.13	94.28	96.62
80	ค่าต่ำสุด	230	35	27	19	13
	ค่าสูงสุด	280	45	32	27	21
	ค่าเฉลี่ย	256	41	29	24	17
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	83.73	88.56	90.77	93.30
100	ค่าต่ำสุด	230	46	40	33	25
	ค่าสูงสุด	280	57	53	42	34
	ค่าเฉลี่ย	256	52	46	38	30
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	79.82	81.98	85.18	88.10

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.12 ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ความลาดชันความเร็ว (ต่อวินาที)	ของแข็งแขวนลอย	(น้ำเข้า)	ของแข็งแขวนลอย (น้ำออก) (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
			1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40	ค่าต่ำสุด	40	11	10	8	6
	ค่าสูงสุด	90	23	21	16	12
	ค่าเฉลี่ย	67	17	16	12	9
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	73.95	76.34	81.59	86.14
60	ค่าต่ำสุด	40	5	4	3	2
	ค่าสูงสุด	90	14	10	9	7
	ค่าเฉลี่ย	67	9	7	6	4
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	86.68	90.60	92.28	94.21
80	ค่าต่ำสุด	40	8	5	4	3
	ค่าสูงสุด	90	16	13	9	6
	ค่าเฉลี่ย	67	12	9	7	5
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	81.59	86.50	89.41	92.73
100	ค่าต่ำสุด	40	10	8	7	5
	ค่าสูงสุด	90	21	17	14	11
	ค่าเฉลี่ย	67	15	12	10	8
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	77.01	82.45	85.43	88.60

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.13 ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

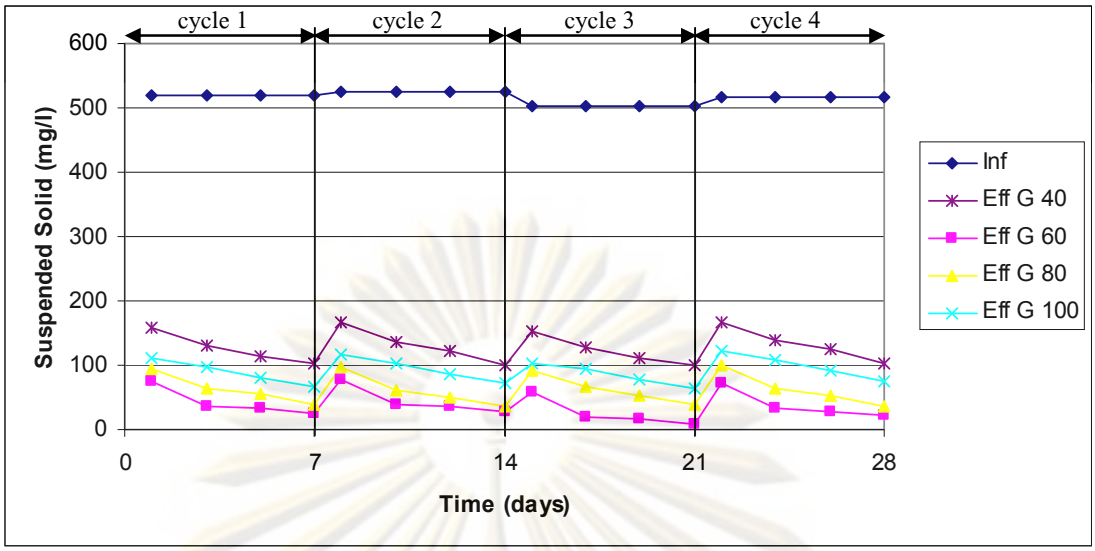
ความลาดชันความเร็ว (ต่อวินาที)	ของแข็งแขวนลอย	(น้ำเข้า)	ของแข็งแขวนลอย (น้ำออก) (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
			1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40	ค่าต่ำสุด	15	4	4	3	3
	ค่าสูงสุด	47	11	9	8	6
	ค่าเฉลี่ย	29	7	6	5	4
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	73.63	76.95	80.01	84.19
60	ค่าต่ำสุด	15	2	2	2	1
	ค่าสูงสุด	47	7	5	3	2
	ค่าเฉลี่ย	29	4	4	3	1
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	84.46	86.38	89.70	95.01
80	ค่าต่ำสุด	15	3	2	2	2
	ค่าสูงสุด	47	9	7	6	4
	ค่าเฉลี่ย	29	6	4	4	3
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	79.48	84.46	87.24	90.03
100	ค่าต่ำสุด	15	3	3	2	2
	ค่าสูงสุด	47	10	8	7	5
	ค่าเฉลี่ย	29	6	5	4	3
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	78.09	81.40	84.46	88.64

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

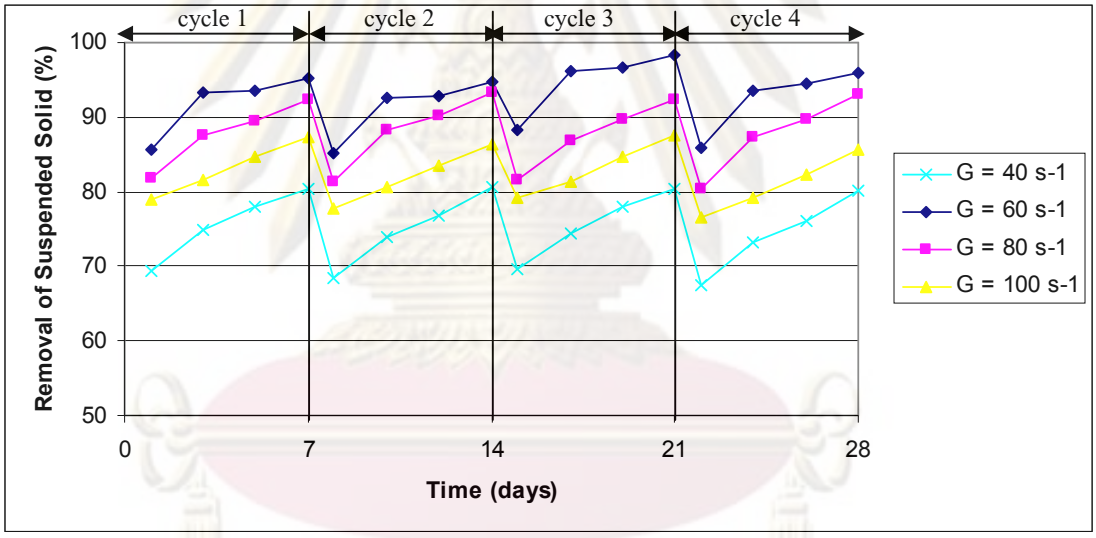
จากตารางที่ 4.10 – 4.13 และภาพที่ 4.11 - 4.18 จะเห็นได้ว่าทุกๆ จำนวนรอบเวลาเดินระบบมีทิศทางหรือแนวโน้มไปในแนวทางเดียวกัน โดยพบว่าระบบอยู่ในสภาวะคงที่ (Steady State) ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยได้มากที่สุดที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที เนื่องจากการทำงานของระบบเอเอสบีอาร์ มีขั้นตอนการเดินระบบตั้งแต่การเติมน้ำเสียเข้าสู่ระบบและเกิดการทำปฏิกิริยาย่อยสลายสารมลพิษอินทรีย์ เพื่อให้เกิดการสัมผัสระหว่างสารอินทรีย์และตะกอนจุลินทรีย์ จึงทำให้อัตราการย่อยสลายสารมลพิษเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว จะเห็นได้ว่าที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที พบว่าภายในระบบมีการกวนที่เพียงพอและทั่วถึงทั้งระบบ สังเกตได้จากจุลินทรีย์ที่ตกตะกอนอยู่ด้านล่างถังได้สัมผัสกับน้ำเสียที่เข้ามาในระบบ ส่งผลให้การรวมตัวของตะกอนจุลินทรีย์ได้ดี จึงทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยสูงขึ้นด้วยในสภาวะนี้ ซึ่งสอดคล้องกับการลดลงของซีโอดีที่สามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยได้มากที่สุดที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที นอกจากนี้ผลการทดลองที่ความลาดชันความเร็ว 40 ต่อวินาที มีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยน้อยที่สุด แสดงว่าระบบสามารถกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียยางข้นได้น้อย เนื่องจากลักษณะการกวนที่ค่อนข้างเบา ทำให้บางจุดในถังมีการสะสมของสารอินทรีย์มากเกินไป และการกระจายจุลินทรีย์ภายในถังไม่ทั่วถึง ส่งผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ไม่ดี ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยจึงลดลง ในขณะเดียวกันที่ความลาดชันความเร็ว 80 และ 100 ต่อวินาที พบว่ามีลักษณะการกวนที่เร็วและค่อนข้างรุนแรง ส่งผลให้ระบบปั่นป่วน จุลินทรีย์ไม่สามารถปรับตัวอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมได้ ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยจึงลดลง จากงานวิจัยของ (อลิสรา วงศ์กิตติวิมล, 2543) ได้กล่าวไว้ว่าน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นเป็นน้ำเสียที่มีสารประกอบที่ซับซ้อนและย่อยสลายได้ยาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ความลาดชันความเร็วให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมในการย่อยสลายสารอินทรีย์ดังกล่าว

แต่เมื่อลดอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2, 1 และ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยได้มากขึ้น แสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์ในระบบสามารถปรับตัวเข้ากับสารอินทรีย์ในระบบได้มากขึ้น ตามลำดับ หรืออาจกล่าวได้ว่าการลดอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดได้ดียิ่งขึ้น

เมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในกำจัดของแข็งแขวนลอยที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5, 1, 2 และ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ความลาดชันความเร็วแตกต่างกันจะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ดูที่ภาคผนวก ข)

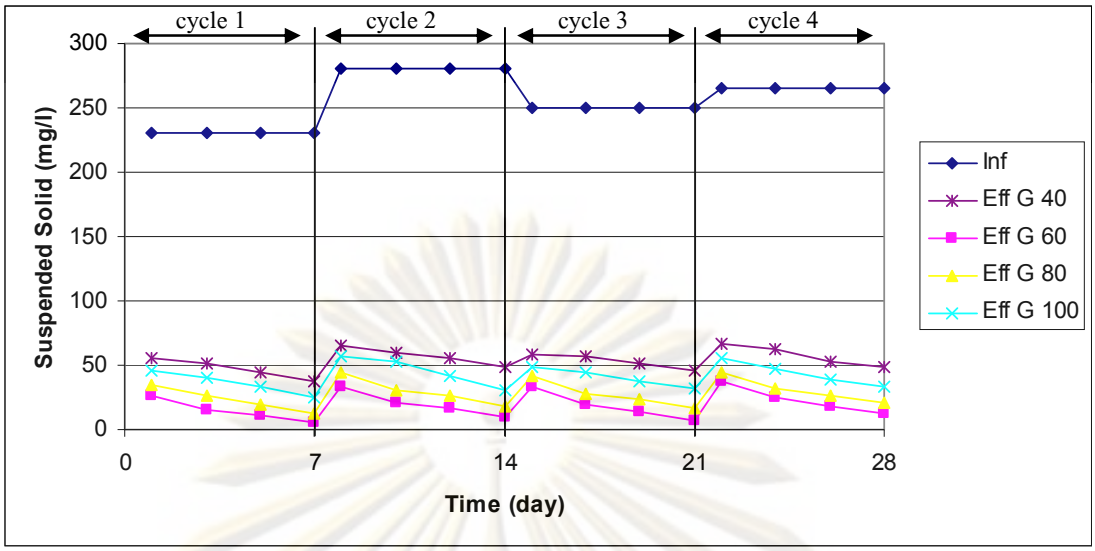


ภาพที่ 4.11 ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอย (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

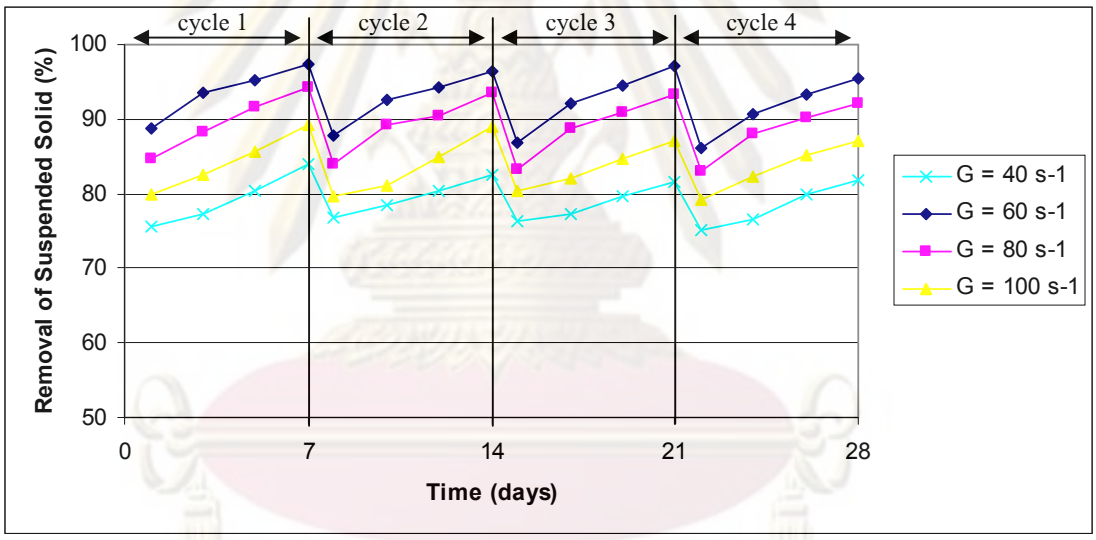


ภาพที่ 4.12 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยที่มีอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

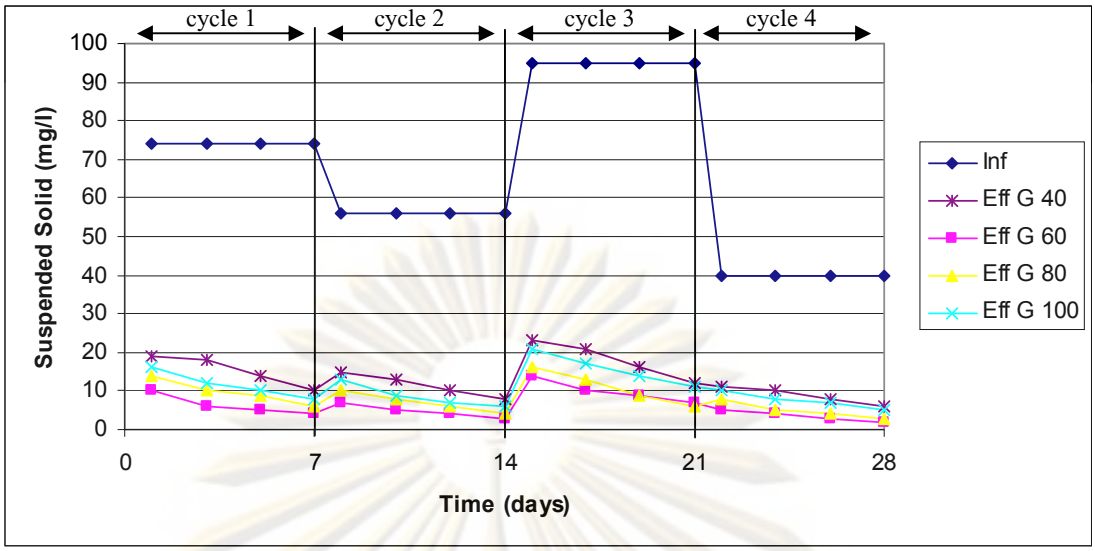


ภาพที่ 4.13 ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอย (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

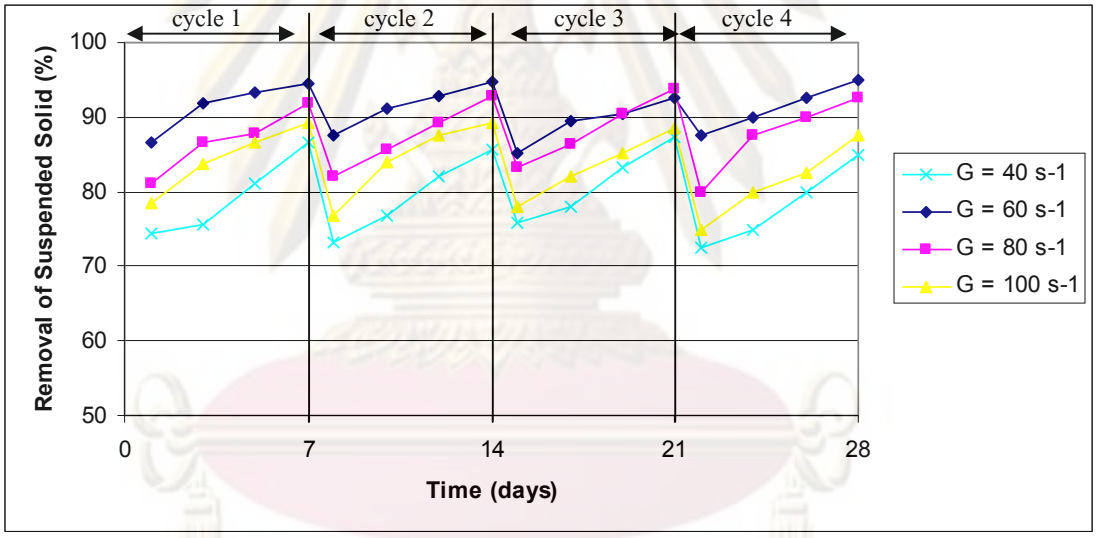


ภาพที่ 4.14 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยที่มีอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

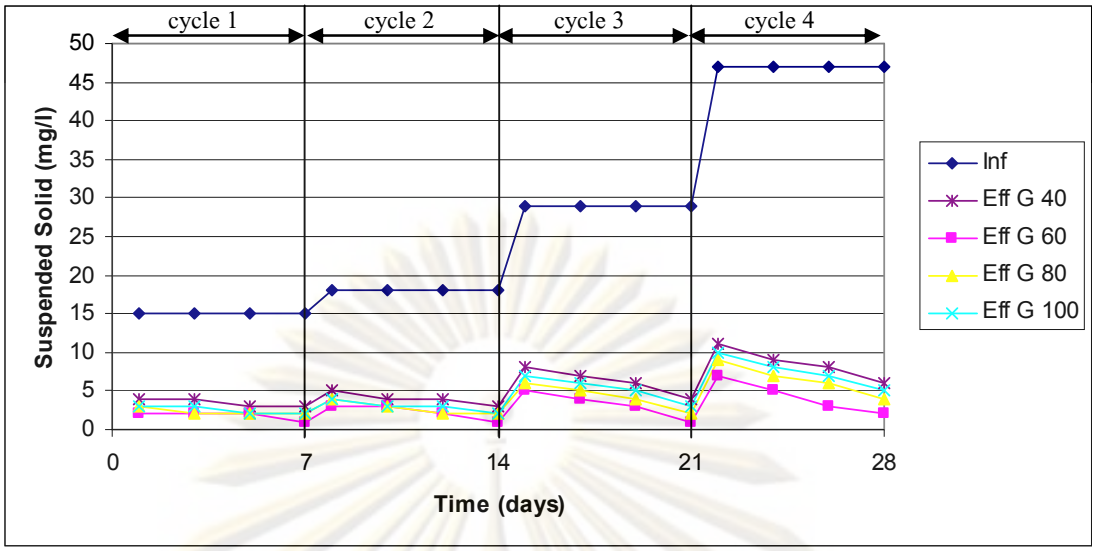


ภาพที่ 4.15 ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอย (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

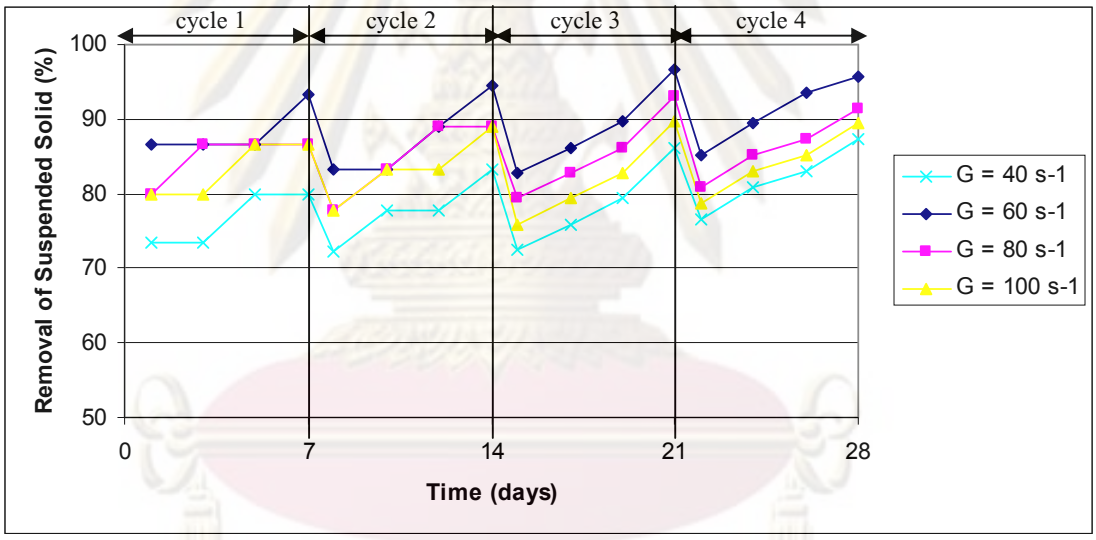


ภาพที่ 4.16 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยที่มีอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.17 ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอย (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)



ภาพที่ 4.18 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยที่มีอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.2.4 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี จะทำการวิเคราะห์ตลอดช่วงทำการทดลอง โดยทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการกำจัดของน้ำเสียยางข้นที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ความลาดชันความเร็ว 40, 60, 80 และ 100 ต่อวินาที ซึ่งแต่ละจำนวนรอบเวลาเดินระบบเท่ากับ 1, 3, 5 และ 7 วัน ตามลำดับ ค่าซีโอดีน้ำเข้าระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3,976 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนค่าซีโอดีของน้ำออกจากระบบที่ความลาดชันความเร็ว 40 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,198, 1,085, 963 และ 912 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 69.87, 72.70, 75.77 และ 77.05 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 876, 772, 677 และ 581 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 77.91, 80.59, 82.97 และ 85.22 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 80 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,055, 921, 839 และ 756 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 73.46, 76.81, 78.90 และ 80.97 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และที่ความลาดชันความเร็ว 100 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,162, 998, 905 และ 827 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 70.78, 74.89, 77.22 และ 79.19 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ซีโอดีน้ำเข้าระบบที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ความลาดชันความเร็ว 40, 60, 80 และ 100 ต่อวินาที ซึ่งแต่ละจำนวนรอบเวลาเดินระบบเท่ากับ 1, 3, 5 และ 7 วัน ตามลำดับ สำหรับค่าซีโอดีน้ำเข้าระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2,690 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าซีโอดีของน้ำออกจากระบบที่ความลาดชันความเร็ว 40 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 687, 658, 627 และ 552 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 74.60, 75.60, 76.70 และ 79.57 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 509, 466, 432 และ 344 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 81.10, 82.70, 83.93 และ 87.28 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 80 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 589, 555, 526 และ 466 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 78.12, 79.51, 80.53 และ 82.72 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และที่ความลาดชันความเร็ว 100 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 642, 621, 596 และ 510 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 76.03, 76.73, 77.65 และ 80.97 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ซีโอดีน้ำเข้าระบบที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ความลาดชันความเร็ว 40, 60, 80 และ 100 ต่อวินาที ซึ่งแต่ละจำนวนรอบเวลาเดินระบบเท่ากับ 1, 3, 5 และ 7 วัน ตามลำดับ สำหรับค่าซีโอดีน้ำเข้าระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,452 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าซีโอดีของน้ำออกจากระบบที่ความลาดชันความเร็ว 40 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 353, 331, 290

และ 274 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 75.55, 77.12, 79.95 และ 80.95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 261, 233, 200 และ 154 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 82.10, 83.89, 86.11 และ 89.63 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 80 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 287, 272, 254 และ 214 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 80.34, 81.50, 82.71 และ 85.54 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และที่ความลาดชันความเร็ว 100 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 319, 283, 230 และ 212 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 77.90, 80.38, 83.97 และ 85.28 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

และซีโอดีน้ำเข้าระบบที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ความลาดชันความเร็ว 40, 60, 80 และ 100 ต่อวินาที ซึ่งแต่ละจำนวนรอบเวลาเดินระบบเท่ากับ 1, 3, 5 และ 7 วัน ตามลำดับ สำหรับค่าซีโอดีน้ำเข้าระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 668 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าซีโอดีของน้ำออกจากระบบที่ความลาดชันความเร็ว 40 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 154, 142, 129 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 76.74, 78.62, 80.53 และ 85.05 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 94, 89, 76 และ 45 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 85.83, 86.78, 88.56 และ 93.35 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 80 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 106, 95, 87 และ 62 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 84.13, 85.70, 86.94 และ 90.65 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และที่ความลาดชันความเร็ว 100 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 122, 113, 100 และ 79 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 81.68, 83.02, 85.10 และ 88.10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีแสดงดังตารางที่ 4.14 – 4.17 และภาพที่ 4.19 - 4.26

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.14 ค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ความลาดชันความเร็ว (ต่อวินาที)	ซีโอดี	(น้ำเข้า)	ซีโอดี (น้ำออก) (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
			1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40	ค่าต่ำสุด	3,872	1,150	1,050	950	890
	ค่าสูงสุด	4,174	1,272	1,150	980	920
	ค่าเฉลี่ย	3,976	1,198	1,085	963	912
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	69.87	72.70	75.77	77.05
60	ค่าต่ำสุด	3,872	844	714	614	514
	ค่าสูงสุด	4,174	947	826	708	613
	ค่าเฉลี่ย	3,976	876	772	677	581
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	77.91	80.59	82.97	85.22
80	ค่าต่ำสุด	3,872	1,020	890	810	715
	ค่าสูงสุด	4,174	1,115	940	890	795
	ค่าเฉลี่ย	3,976	1,055	921	839	756
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	73.46	76.81	78.90	80.97
100	ค่าต่ำสุด	3,872	1,100	967	890	802
	ค่าสูงสุด	4,174	1,230	1,050	930	860
	ค่าเฉลี่ย	3,976	1,162	998	905	827
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	70.78	74.89	77.22	79.19

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.15 ค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ความลาดชันความเร็ว (ต่อวินาที)	ซีโอดี	(น้ำเข้า)	ซีโอดี (น้ำออก) (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
			1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40	ค่าต่ำสุด	2,576	657	628	592	531
	ค่าสูงสุด	2,796	727	693	661	581
	ค่าเฉลี่ย	2,690	687	658	627	552
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	74.60	75.60	76.70	79.57
60	ค่าต่ำสุด	2,576	481	435	395	317
	ค่าสูงสุด	2,796	539	498	467	376
	ค่าเฉลี่ย	2,690	509	466	432	344
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	81.10	82.70	83.93	87.28
80	ค่าต่ำสุด	2,576	557	534	502	437
	ค่าสูงสุด	2,796	621	588	556	496
	ค่าเฉลี่ย	2,690	589	555	526	466
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	78.12	79.51	80.53	82.72
100	ค่าต่ำสุด	2,576	603	578	546	477
	ค่าสูงสุด	2,796	668	643	623	538
	ค่าเฉลี่ย	2,690	642	621	596	510
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	76.03	76.73	77.65	80.97

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.16 ค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ความลาดชันความเร็ว (ต่อวินาที)	ซีโอดี	(น้ำเข้า)	ซีโอดี (น้ำออก) (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
			1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40	ค่าต่ำสุด	1,280	320	299	268	255
	ค่าสูงสุด	1,669	393	368	318	296
	ค่าเฉลี่ย	1,452	353	331	290	274
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	75.55	77.12	79.95	80.95
60	ค่าต่ำสุด	1,280	238	213	183	128
	ค่าสูงสุด	1,669	296	257	220	193
	ค่าเฉลี่ย	1,452	261	233	200	154
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	82.10	83.89	86.11	89.63
80	ค่าต่ำสุด	1,280	257	245	227	182
	ค่าสูงสุด	1,669	334	321	302	265
	ค่าเฉลี่ย	1,452	287	272	254	214
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	80.34	81.50	82.71	85.54
100	ค่าต่ำสุด	1,280	294	258	201	180
	ค่าสูงสุด	1,669	348	314	256	244
	ค่าเฉลี่ย	1,452	319	283	230	212
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	77.90	80.38	83.97	85.28

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.17 ค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ความลาดชันความเร็ว (ต่อวินาที)	ซีโอดี	(น้ำเข้า)	ซีโอดี (น้ำออก) (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
			1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40	ค่าต่ำสุด	589	132	123	110	81
	ค่าสูงสุด	736	169	157	142	116
	ค่าเฉลี่ย	668	154	142	129	100
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	76.74	78.62	80.53	85.05
60	ค่าต่ำสุด	589	78	74	69	32
	ค่าสูงสุด	736	107	103	83	55
	ค่าเฉลี่ย	668	94	89	76	45
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	85.83	86.78	88.56	93.35
80	ค่าต่ำสุด	589	92	86	81	53
	ค่าสูงสุด	736	115	102	94	68
	ค่าเฉลี่ย	668	106	95	87	62
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	84.13	85.70	86.94	90.65
100	ค่าต่ำสุด	589	102	96	88	61
	ค่าสูงสุด	736	138	124	110	94
	ค่าเฉลี่ย	668	122	113	100	79
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	81.68	83.02	85.10	88.10

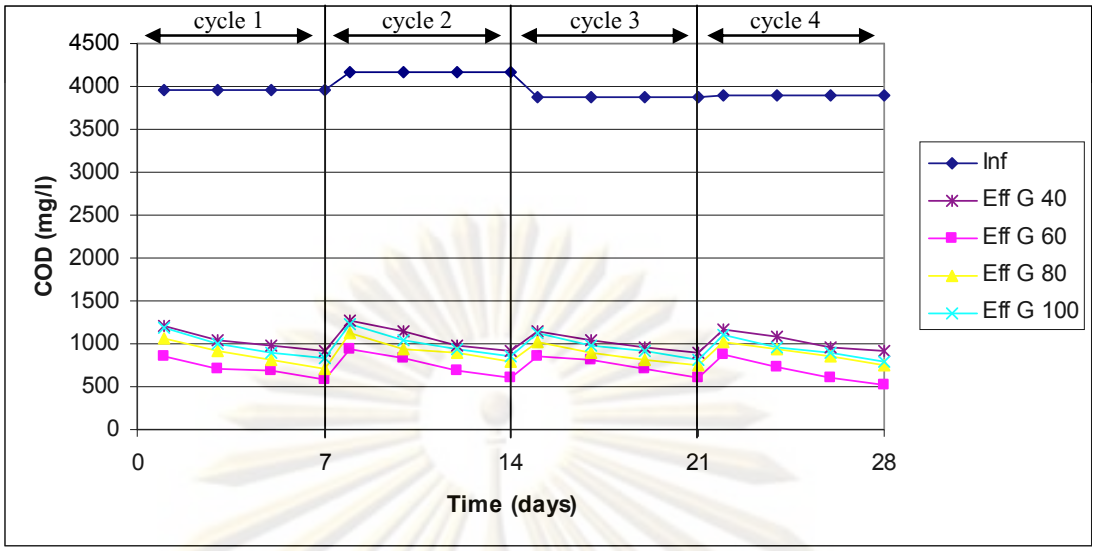
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ 4.14 – 4.17 และภาพที่ 4.19 - 4.26 จะเห็นได้ว่าทุกๆ จำนวนรอบเวลาเดินระบบมีทิศทางหรือแนวโน้มไปในแนวทางเดียวกัน โดยพบว่าระบบอยู่ในสภาวะคงที่ (Steady State) ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาทีมากกว่า 40, 80 และ 100 ต่อวินาที ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการเดินระบบที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที เป็นสภาวะที่เอื้ออำนวยให้มวลชีวภาพในถังปฏิกิริยาเกิดการผสมกันระหว่างตะกอนจุลินทรีย์ และน้ำเสียอย่างทั่วถึง ทำให้แบคทีเรียมีโอกาสได้รับสารอินทรีย์หรือสารต่าง ๆ ที่แบคทีเรียขับออกจากกระบวนการย่อยสลายมีการกระจายที่ดีขึ้น อีกทั้งทำให้ตะกอนจุลินทรีย์เกิดการตกตะกอนที่ดี จึงทำให้ความสกปรกในรูปซีโอดีในน้ำเสียถูกย่อยสลายไปได้มากกว่าที่ความลาดชันความเร็ว 40, 80 และ 100 ต่อวินาที ตามลำดับ สำหรับความลาดชันความเร็ว 40 ต่อวินาที ทำให้จุลินทรีย์จับใช้สารอินทรีย์ได้น้อย หรือได้ไม่ดี จึงทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมีค่าต่ำ และในขณะเดียวกันความลาดชันความเร็ว 80 และ 100 ต่อวินาที มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี คือ จะเกิดการแย่งกันของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ส่งผลทำให้ระบบปั่นป่วน ทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถปรับตัวอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมได้ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบลดลง เมื่อเทียบกับความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที

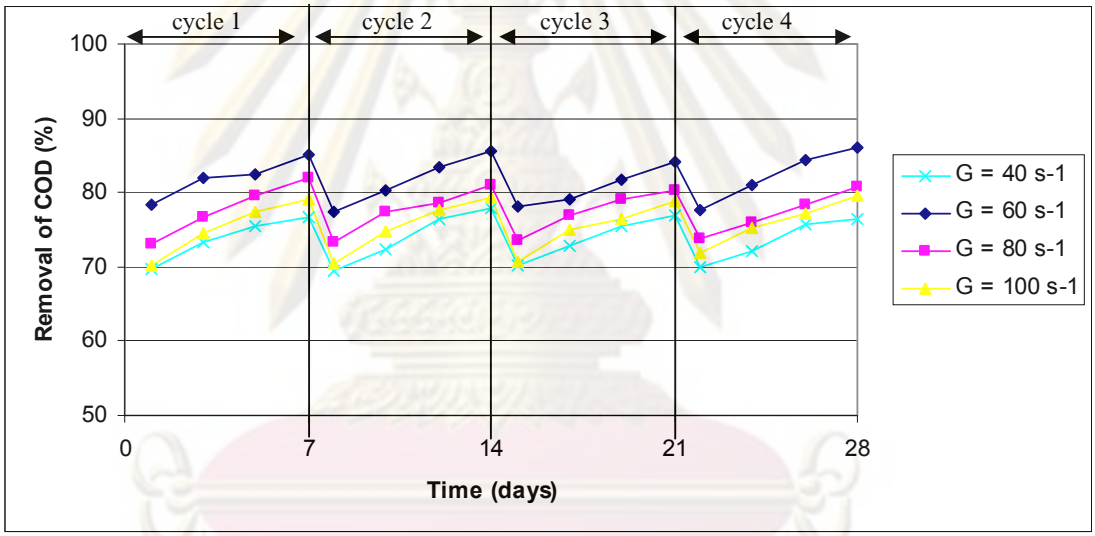
แต่เมื่อลดอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2, 1 และ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีได้มากขึ้น แสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์ในระบบสามารถปรับตัวเข้ากับสารอินทรีย์ในระบบได้มากขึ้นตามลำดับ หรืออาจกล่าวได้ว่าการลดอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (น้ำเงิน จันทรมณี, 2549) พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีได้ลดลง เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของสารอินทรีย์ในน้ำเข้าระบบ

เมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในกำจัดซีโอดีที่ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5, 1, 2 และ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ความลาดชันความเร็วแตกต่างกันจะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ดูที่ภาคผนวก ข)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

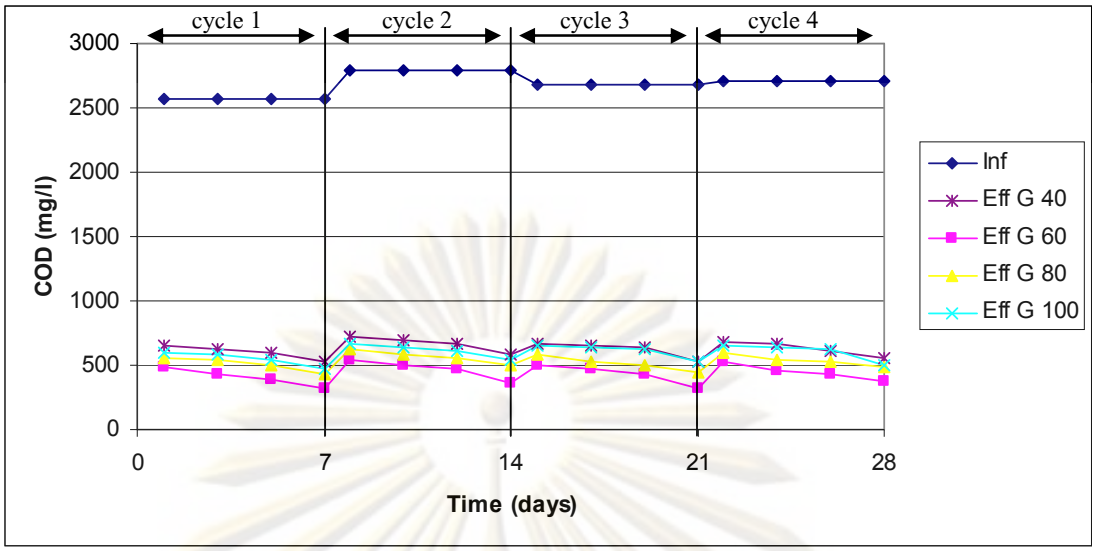


ภาพที่ 4.19 ค่าซีโอดี (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

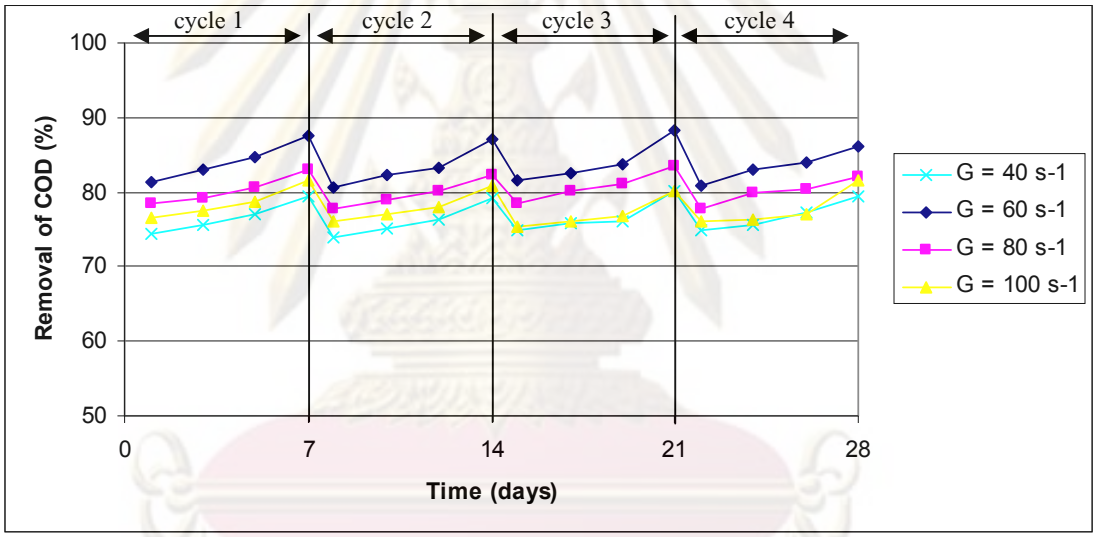


ภาพที่ 4.20 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่มีอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

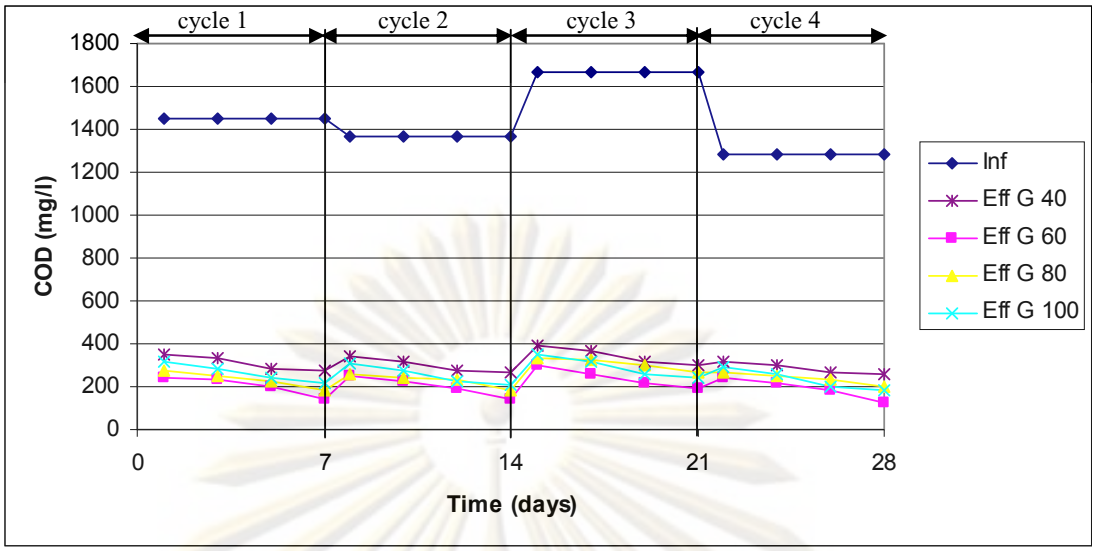


ภาพที่ 4.21 ค่าซีโอดี (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

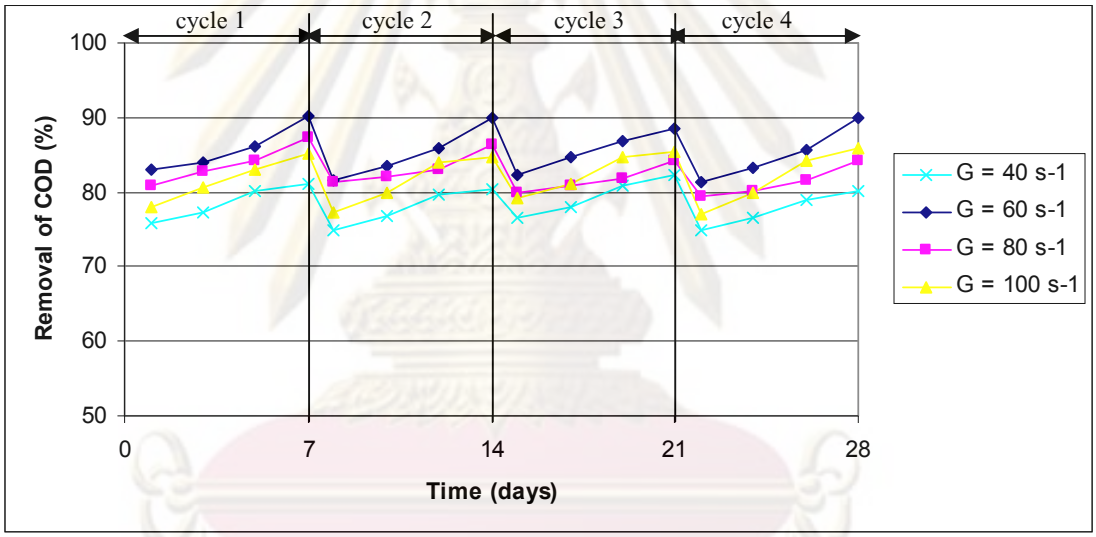


ภาพที่ 4.22 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่มีอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

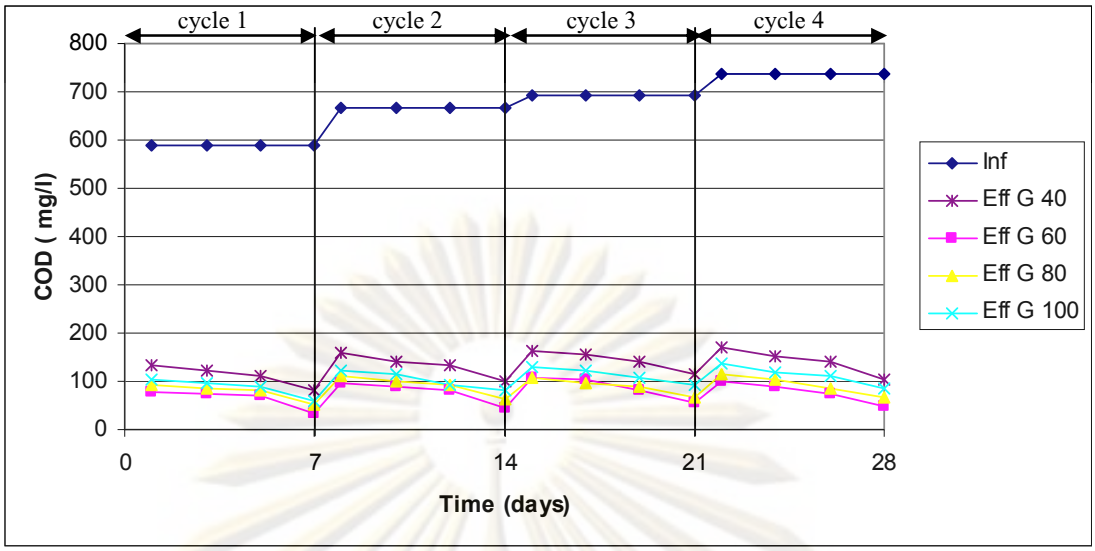


ภาพที่ 4.23 ค่าซีโอดี (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

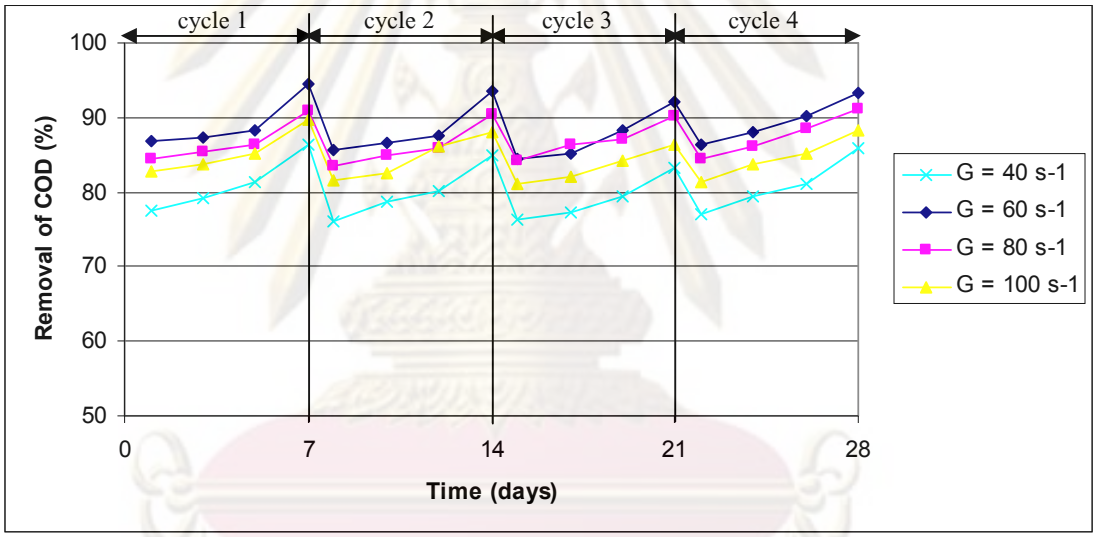


ภาพที่ 4.24 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่มีอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.25 ค่าซีโอดี (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)



ภาพที่ 4.26 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่มีอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.2.5 ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟต

ปริมาณซัลเฟตของน้ำเสียยางข้นที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ความลาดชันความเร็ว 40, 60, 80 และ 100 ต่อวินาที ซึ่งแต่ละจำนวนรอบเวลาเดินระบบเท่ากับ 1, 3, 5 และ 7 วัน ตามลำดับ สำหรับค่าปริมาณซัลเฟตน้ำเข้าระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 258 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนค่าปริมาณซัลเฟตของน้ำออกจากระบบที่ความลาดชันความเร็ว 40 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 167, 149, 129 และ 115 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 35.23, 42.08, 50.19 และ 55.35 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 149, 128, 106 และ 84 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 42.32, 50.54, 59.07 และ 67.66 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 80 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 153, 138, 109 และ 93 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 40.55, 47.23, 57.75 และ 63.79 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และที่ความลาดชันความเร็ว 100 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 160, 142, 119 และ 106 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 38.04, 45.05, 54.03 และ 58.85 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ปริมาณซัลเฟตของน้ำเสียยางข้นที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ความลาดชันความเร็ว 40, 60, 80 และ 100 ต่อวินาที ซึ่งแต่ละจำนวนรอบเวลาเดินระบบเท่ากับ 1, 3, 5 และ 7 วัน ตามลำดับ สำหรับค่าปริมาณซัลเฟตน้ำเข้าระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 255 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนค่าปริมาณซัลเฟตของน้ำออกจากระบบที่ความลาดชันความเร็ว 40 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 157, 140, 120 และ 101 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 38.57, 45.51, 52.90 และ 60.50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 138, 120, 101 และ 80 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 46.00, 52.77, 60.47 และ 68.44 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 80 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 143, 125, 108 และ 86 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 44.03, 51.18, 57.7 และ 66.35 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และที่ความลาดชันความเร็ว 100 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 149, 131, 114 และ 94 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 41.70, 48.73, 55.39 และ 63.05 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ปริมาณซัลเฟตของน้ำเสียยางข้นที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ความลาดชันความเร็ว 40, 60, 80 และ 100 ต่อวินาที ซึ่งแต่ละจำนวนรอบเวลาเดินระบบเท่ากับ 1, 3, 5 และ 7 วัน ตามลำดับ สำหรับค่าปริมาณซัลเฟตน้ำเข้าระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 103 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนค่าปริมาณซัลเฟตของน้ำออกจากระบบที่ความลาดชันความเร็ว 40 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 56, 46, 40 และ 32 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการ

กำจัดซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 45.60, 56.06, 62.01 และ 69.98 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 47, 40, 36 และ 26 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 54.26, 61.29, 65.57 และ 73.98 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 80 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 49, 42, 36 และ 28 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 52.56, 59.49, 65.06 และ 73.63 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และที่ความลาดชันความเร็ว 100 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 54, 44, 39 และ 31 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 48.24, 57.40, 62.70 และ 70.98 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

และปริมาณซัลเฟตของน้ำเสียยางข้นที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ความลาดชันความเร็ว 40, 60, 80 และ 100 ต่อวินาที ซึ่งแต่ละจำนวนรอบเวลาเดินระบบเท่ากับ 1, 3, 5 และ 7 วัน ตามลำดับ สำหรับค่าปริมาณซัลเฟตน้ำเข้าระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 43 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนค่าปริมาณซัลเฟตของน้ำออกจากระบบที่ความลาดชันความเร็ว 40 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 15, 14, 13 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 63.36, 67.38, 70.38 และ 77.30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9, 8, 5 และ 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 78.26, 81.32, 89.06 และ 93.08 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 80 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13, 9, 8 และ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 70.35, 78.88, 81.78 และ 88.11 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และที่ความลาดชันความเร็ว 100 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 14, 13, 7 และ 9 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 68.38, 70.82, 84.55 และ 79.74 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ปริมาณซัลเฟตและประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตแสดงดังตารางที่ 4.18 – 4.21 และภาพที่ 4.27 - 4.34

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.18 ค่าปริมาณซัลเฟตและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ความลาดชันความเร็ว (ต่อวินาที)	ซัลเฟต	(น้ำเข้า)	ซัลเฟต (น้ำออก) (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
			1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40	ค่าต่ำสุด	214	138	124	105	96
	ค่าสูงสุด	292	191	169	146	130
	ค่าเฉลี่ย	258	167	149	129	115
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	35.23	42.08	50.19	55.35
60	ค่าต่ำสุด	214	123	104	87	68
	ค่าสูงสุด	292	171	145	120	96
	ค่าเฉลี่ย	258	149	128	106	84
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	42.32	50.54	59.07	67.66
80	ค่าต่ำสุด	214	127	113	92	78
	ค่าสูงสุด	292	175	155	121	106
	ค่าเฉลี่ย	258	153	136	109	93
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	40.55	47.23	57.75	63.79
100	ค่าต่ำสุด	214	133	116	97	88
	ค่าสูงสุด	292	183	161	132	119
	ค่าเฉลี่ย	258	160	142	119	106
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	38.04	45.05	54.03	58.85

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.19 ค่าปริมาณซัลเฟตและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ความลาดชันความเร็ว (ต่อวินาที)	ซัลเฟต	(น้ำเข้า)	ซัลเฟต (น้ำออก) (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
			1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40	ค่าต่ำสุด	231	143	127	110	94
	ค่าสูงสุด	273	167	151	128	107
	ค่าเฉลี่ย	255	157	140	120	101
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	38.57	45.51	52.90	60.50
60	ค่าต่ำสุด	231	124	107	89	71
	ค่าสูงสุด	273	148	130	109	86
	ค่าเฉลี่ย	255	138	120	101	80
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	46.00	52.77	60.47	68.44
80	ค่าต่ำสุด	231	130	112	97	78
	ค่าสูงสุด	273	151	134	116	90
	ค่าเฉลี่ย	255	143	125	108	86
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	44.03	51.18	57.70	66.35
100	ค่าต่ำสุด	231	136	119	101	85
	ค่าสูงสุด	273	162	140	122	101
	ค่าเฉลี่ย	255	149	131	114	94
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	41.70	48.73	55.39	63.05

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.20 ค่าปริมาณซัลเฟตและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ความลาดชันความเร็ว (ต่อวินาที)	ซัลเฟต	(น้ำเข้า)	ซัลเฟต (น้ำออก) (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
			1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40	ค่าต่ำสุด	81	45	36	30	25
	ค่าสูงสุด	127	69	56	50	40
	ค่าเฉลี่ย	103	56	46	40	32
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	45.60	56.06	62.01	69.98
60	ค่าต่ำสุด	81	38	32	28	20
	ค่าสูงสุด	127	57	48	46	32
	ค่าเฉลี่ย	103	47	40	36	26
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	54.26	61.29	65.57	73.98
80	ค่าต่ำสุด	81	39	34	29	21
	ค่าสูงสุด	127	59	49	45	35
	ค่าเฉลี่ย	103	49	42	36	28
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	52.56	59.49	65.06	73.63
100	ค่าต่ำสุด	81	43	35	30	24
	ค่าสูงสุด	127	66	53	49	39
	ค่าเฉลี่ย	103	54	44	39	31
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	48.24	57.40	62.70	70.98

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.21 ค่าปริมาณซัลเฟตและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ความลาดชันความเร็ว (ต่อวินาที)	ซัลเฟต	(น้ำเข้า)	ซัลเฟต (น้ำออก) (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
			1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40	ค่าต่ำสุด	29	11	10	8	6
	ค่าสูงสุด	54	18	16	17	13
	ค่าเฉลี่ย	43	15	14	13	10
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	63.36	67.38	70.38	77.3
60	ค่าต่ำสุด	29	6	5	3	2
	ค่าสูงสุด	54	12	11	6	4
	ค่าเฉลี่ย	43	9	8	5	3
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	78.26	81.32	89.06	93.08
80	ค่าต่ำสุด	29	8	6	5	3
	ค่าสูงสุด	54	16	12	10	7
	ค่าเฉลี่ย	43	13	9	8	5
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	70.35	78.88	81.78	88.11
100	ค่าต่ำสุด	29	9	8	4	5
	ค่าสูงสุด	54	17	16	8	12
	ค่าเฉลี่ย	43	14	13	7	9
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	68.38	70.82	84.55	79.74

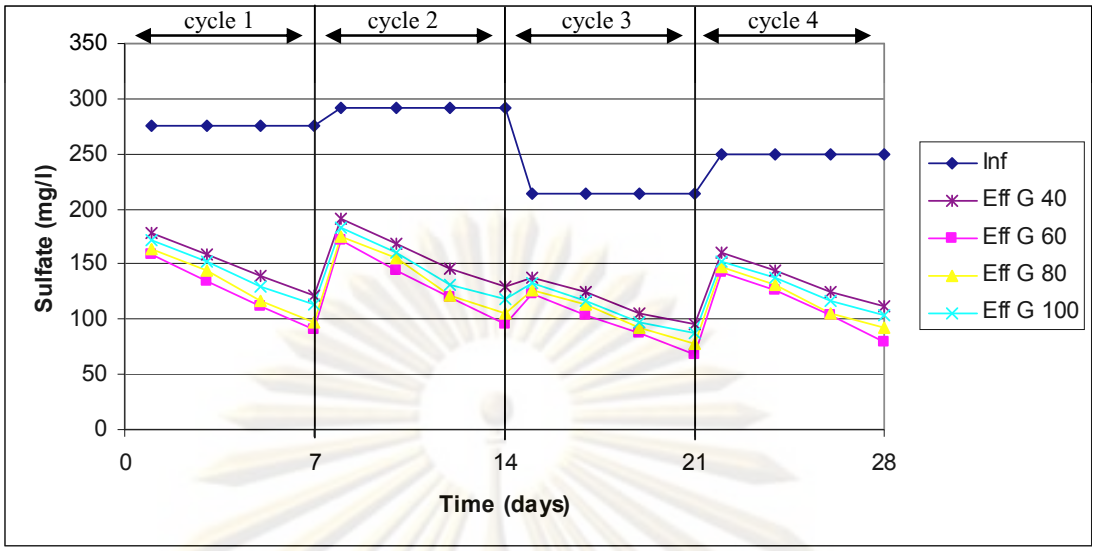
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ 4.18 – 4.21 และภาพที่ 4.27 - 4.34 จะเห็นได้ว่าทุกๆ จำนวนรอบเวลาเดินระบบมีทิศทางหรือแนวโน้มไปในแนวทางเดียวกัน โดยพบว่าระบบอยู่ในสภาวะคงที่ (Steady State) ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที ระบบสามารถกำจัดซัลเฟตได้มากที่สุด สังเกตได้จากภายในระบบมีการกวนที่ทั่วถึง จึงทำให้จุลินทรีย์มีโอกาสสัมผัสกับสารอินทรีย์มากขึ้น ส่งผลให้จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้มากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากระบบมีปฏิกิริยาซัลเฟตรีดักชั่นเข้ามาเกี่ยวข้อง เนื่องจากในน้ำเสียอุตสาหกรรมมีซัลเฟตเป็นองค์ประกอบโดยมีซัลเฟตเป็นตัวรับอิเลคตรอน โดยรีดิวซ์ซัลเฟตเป็นซัลไฟด์ จึงส่งผลทำให้ซัลเฟตในระบบลดลงทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (จันทิมา สกุลพานิชัย, 2548) ในน้ำเสียอุตสาหกรรมที่มีซัลเฟตเป็นองค์ประกอบเช่นเดียวกัน แสดงว่าแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต (SRB) ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดซัลเฟตนั้นสามารถเจริญเติบโตขึ้นมาในน้ำเสียนี้ได้ และเปลี่ยนรูปซัลเฟตไปอยู่ในรูปอื่นๆได้ ทำให้ความเข้มข้นของซัลเฟตในน้ำออกลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของซัลไฟล์ที่มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น รองลงมาที่ความลาดชันความเร็ว 80 และ 100 ต่อวินาที ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตใกล้เคียงกัน ส่วนที่ความลาดชันความเร็ว 40 ต่อวินาที ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตค่อนข้างต่ำ อาจเนื่องมาจากอัตราการกวนที่ค่อนข้างช้า ทำให้การผสมกันระหว่างจุลินทรีย์กับสารอินทรีย์ในน้ำไม่ทั่วถึง จากการสังเกตพบว่าภายในระบบมีการสะสมของพวกเศษยางต่างๆ อยู่บริเวณผิวหน้าของถังปฏิกรณ์เกิดการสะสมของสารพิษ ซึ่งอาจจะมีผลต่อการทำงานของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต ส่งผลให้การเกิดปฏิกิริยาซัลเฟตรีดักชั่นลดน้อยลง

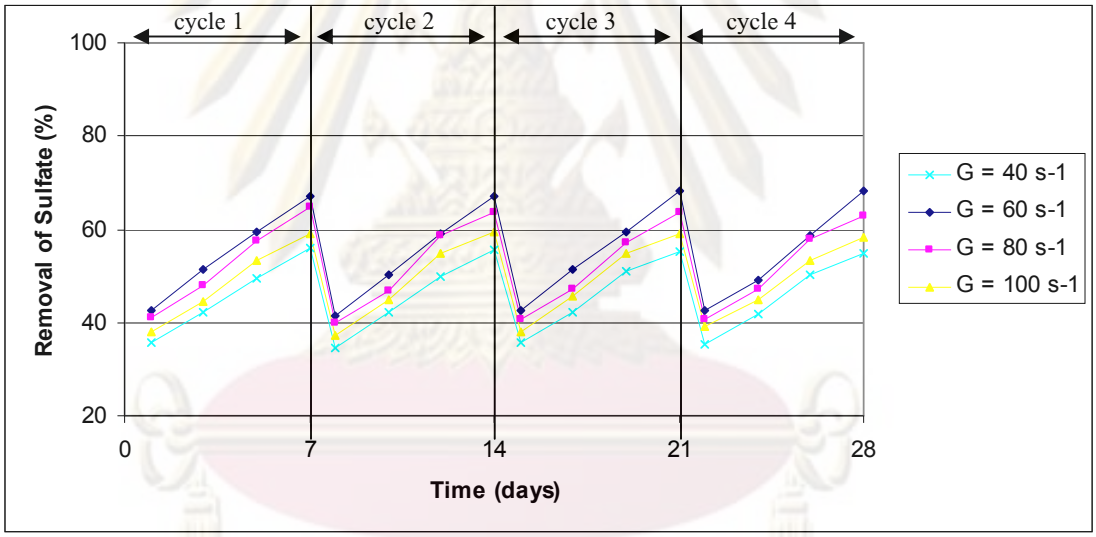
แต่เมื่อลดอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2, 1 และ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตได้มากขึ้น แสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์ในระบบสามารถปรับตัวเข้ากับสารอินทรีย์ในระบบได้มากขึ้น ตามลำดับ หรืออาจกล่าวได้ว่าการลดอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดได้ดียิ่งขึ้น

เมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในกำจัดซัลเฟตที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5, 1, 2 และ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ความลาดชันความเร็วแตกต่างกันจะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ดูที่ภาคผนวก ข)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

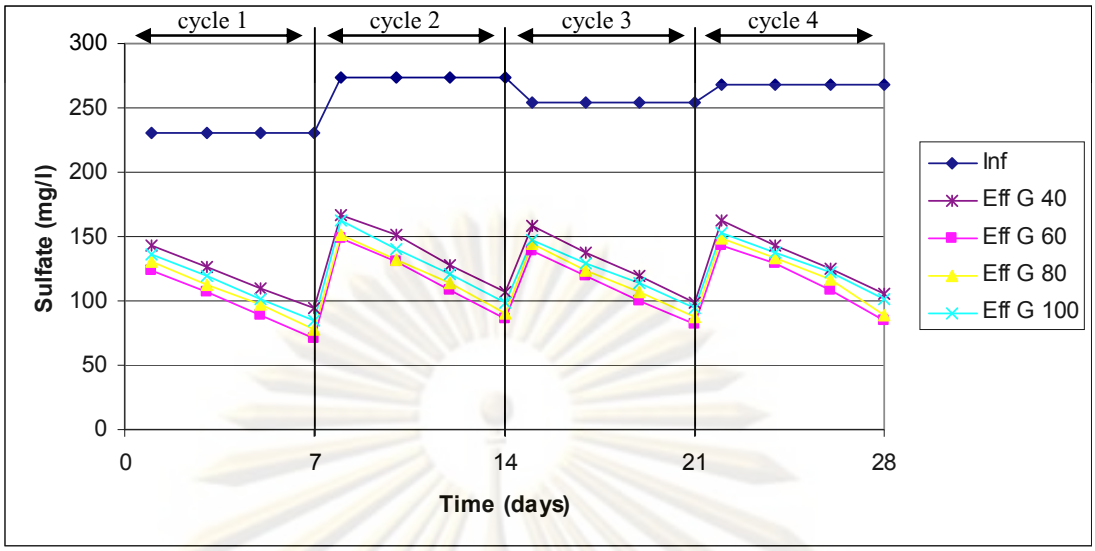


ภาพที่ 4.27 ค่าปริมาณซัลเฟต (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

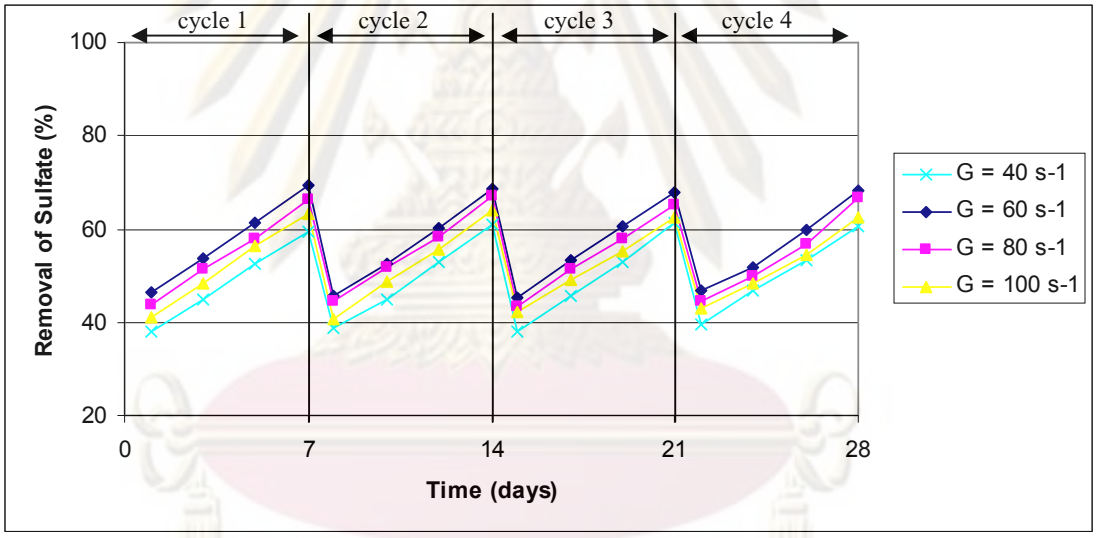


ภาพที่ 4.28 ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตที่มีอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

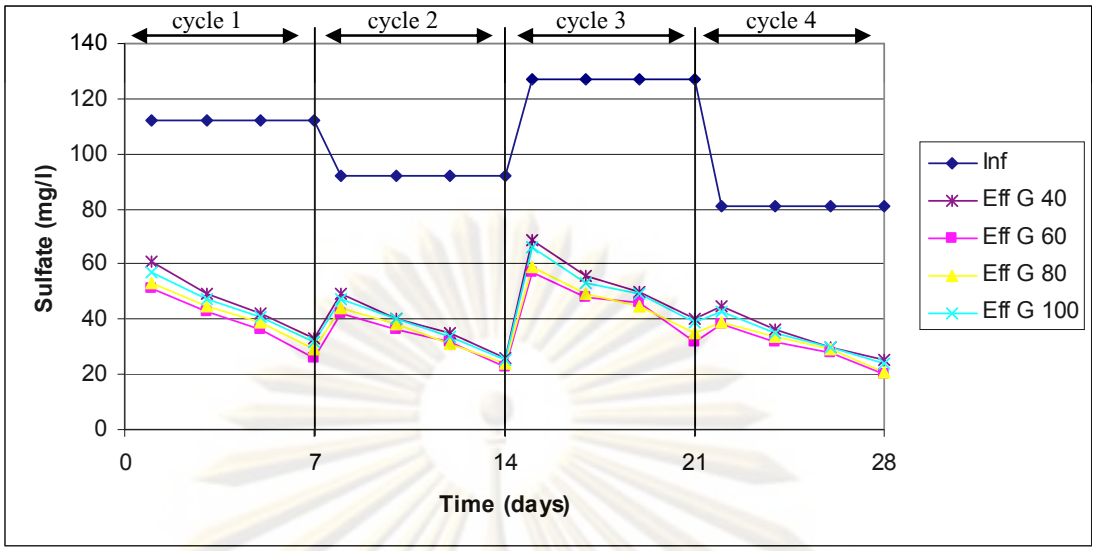


ภาพที่ 4.29 ค่าปริมาณซัลเฟต (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

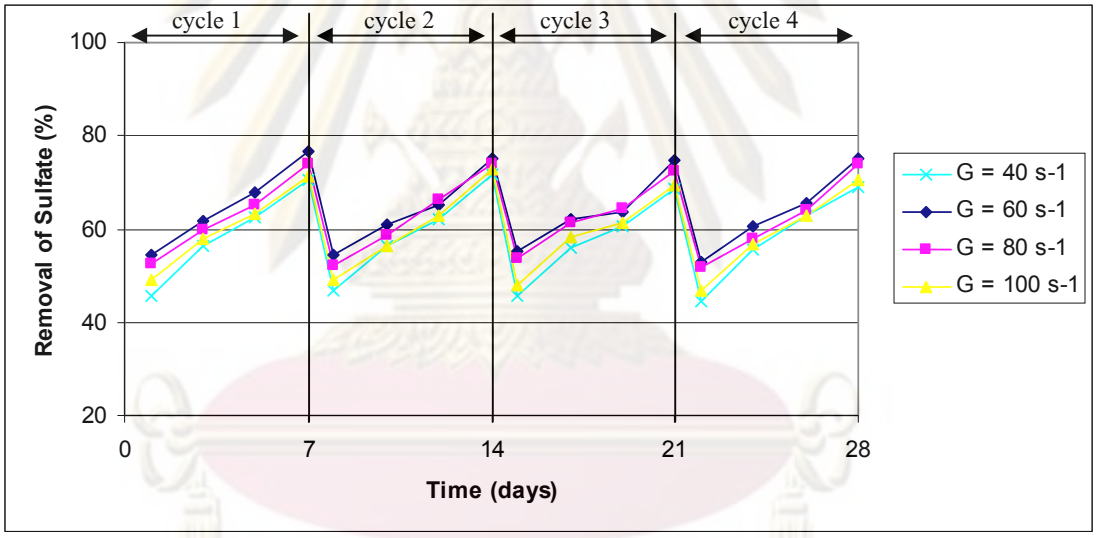


ภาพที่ 4.30 ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตที่มีอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

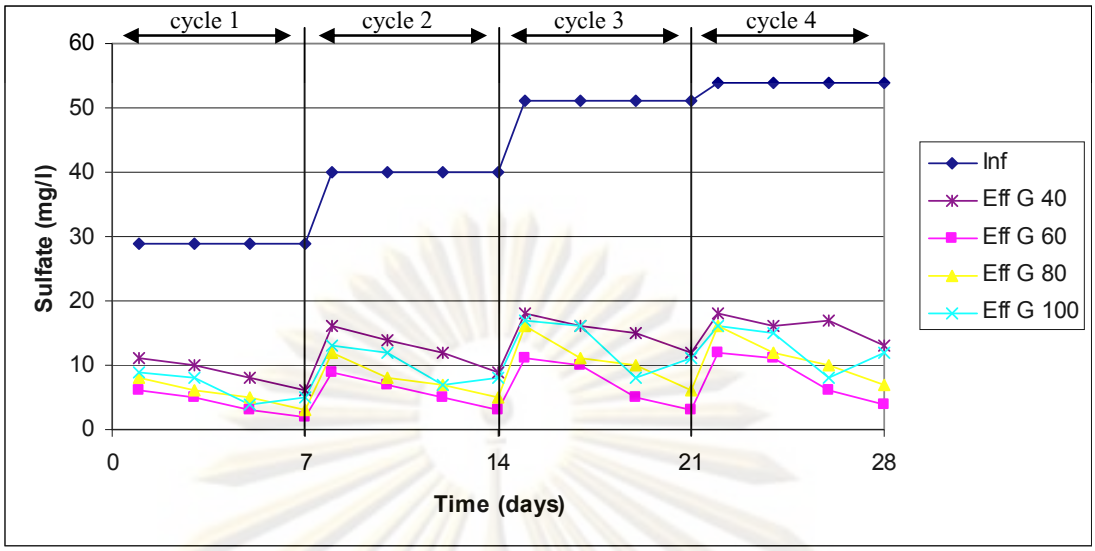


ภาพที่ 4.31 ค่าปริมาณซัลเฟต (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

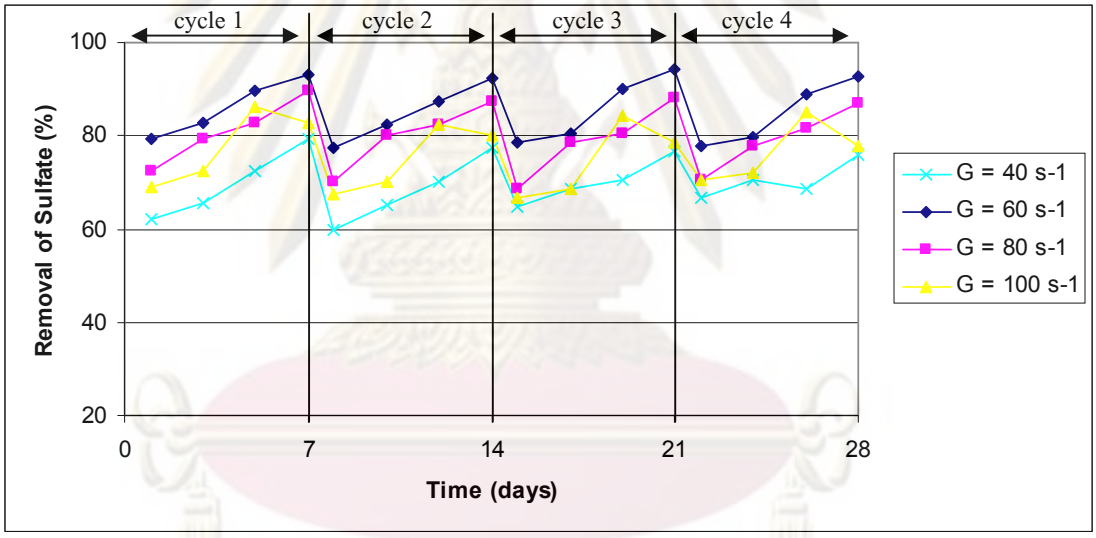


ภาพที่ 4.32 ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตที่มีอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.33 ค่าปริมาณซัลเฟต (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)



ภาพที่ 4.34 ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตที่มีอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.2.6 ซัลไฟด์ (Sulfide)

ปริมาณซัลไฟด์ของน้ำเสียยางข้นที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ความลาดชันความเร็ว 40, 60, 80 และ 100 ต่อวินาที ซึ่งแต่ละจำนวนรอบเวลาเดินระบบเท่ากับ 1, 3, 5 และ 7 วัน ตามลำดับ สำหรับปริมาณซัลไฟด์น้ำเข้าระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 40.76 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับปริมาณซัลไฟด์ของน้ำออกจากระบบที่ความลาดชันความเร็ว 40 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 43.14, 50.03, 57.98 และ 69.22 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 59.44, 67.39, 75.27 และ 87.70 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 80 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 51.22, 59.48, 66.75 และ 80.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และที่ความลาดชันความเร็ว 100 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 49.14, 57.45, 65.19 และ 78.51 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ปริมาณซัลไฟด์ของน้ำเสียยางข้นที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ความลาดชันความเร็ว 40, 60, 80 และ 100 ต่อวินาที ซึ่งแต่ละจำนวนรอบเวลาเดินระบบเท่ากับ 1, 3, 5 และ 7 วัน ตามลำดับ สำหรับปริมาณซัลไฟด์น้ำเข้าระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.44 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับปริมาณซัลไฟด์ของน้ำออกจากระบบที่ความลาดชันความเร็ว 40 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.65, 12.61, 23.95 และ 35.37 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 24.19, 32.3, 43.56 และ 54.42 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 80 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 16.48, 24.34, 34.94 และ 46.44 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และที่ความลาดชันความเร็ว 100 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.61, 19.41, 30.81 และ 42.37 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ปริมาณซัลไฟด์ของน้ำเสียยางข้นที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ความลาดชันความเร็ว 40, 60, 80 และ 100 ต่อวินาที ซึ่งแต่ละจำนวนรอบเวลาเดินระบบเท่ากับ 1, 3, 5 และ 7 วัน ตามลำดับ สำหรับปริมาณซัลไฟด์น้ำเข้าระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.53 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าซัลไฟด์ของน้ำออกจากระบบที่ความลาดชันความเร็ว 40 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.90, 5.60, 10.10 และ 14.50 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.6, 15.39, 20.09 และ 24.63 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 80 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.63, 11.28, 15.93 และ 20.77 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และที่ความลาดชันความเร็ว 100 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.21, 9.08, 13.41 และ 18.47 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

และปริมาณซัลไฟด์ของน้ำเสียยางข้นที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ความลาดชันความเร็ว 40, 60, 80 และ 100 ต่อวินาที ซึ่งแต่ละจำนวนรอบเวลาเดินระบบเท่ากับ 1, 3, 5 และ 7 วัน ตามลำดับ สำหรับปริมาณซัลไฟด์น้ำเข้าระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.93 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าซัลไฟด์ของน้ำออกจากระบบที่ความลาดชันความเร็ว 40 ต่อวินาที

มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.55, 2.61, 4.69 และ 6.96 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.54, 7.33, 9.59 และ 11.64 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 80 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.65, 5.40, 7.61 และ 9.83 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และที่ความลาดชันความเร็ว 100 ต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.63, 4.67, 6.88 และ 8.61 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ปริมาณซัลไฟด์แสดงดังตารางที่ 4.22 – 4.25 และภาพที่ 4.35 – 4.38

ตารางที่ 4.22 ค่าซัลไฟด์ (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ความลาดชันความเร็ว (ต่อวินาที)	ซัลไฟด์	(น้ำเข้า)	ซัลไฟด์ (น้ำออก) (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
			1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40	ค่าต่ำสุด	39.06	39.80	48.22	55.39	62.56
	ค่าสูงสุด	42.87	46.12	53.55	61.34	75.26
	ค่าเฉลี่ย	40.76	43.14	50.03	57.98	69.22
60	ค่าต่ำสุด	39.06	55.06	64.06	72.62	84.23
	ค่าสูงสุด	42.87	62.59	72.40	79.36	92.15
	ค่าเฉลี่ย	40.76	59.44	67.39	75.27	87.70
80	ค่าต่ำสุด	39.06	46.56	55.94	63.52	76.23
	ค่าสูงสุด	42.87	55.19	63.86	71.47	85.12
	ค่าเฉลี่ย	40.76	51.22	59.48	66.75	80.05
100	ค่าต่ำสุด	39.06	45.66	54.52	60.62	74.08
	ค่าสูงสุด	42.87	53.16	61.29	68.80	82.70
	ค่าเฉลี่ย	40.76	49.14	57.45	65.19	78.51

ตารางที่ 4.23 ค่าซัลไฟด์ (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ความลาดชันความเร็ว (ต่อวินาที)	ซัลไฟด์	(น้ำเข้า)	ซัลไฟด์ (น้ำออก) (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
			1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40	ค่าต่ำสุด	3.30	3.93	10.23	19.47	32.21
	ค่าสูงสุด	3.57	6.80	14.56	28.10	38.46
	ค่าเฉลี่ย	3.44	5.65	12.61	23.95	35.37
60	ค่าต่ำสุด	3.30	22.69	29.96	40.31	51.27
	ค่าสูงสุด	3.57	25.02	34.25	46.86	57.12
	ค่าเฉลี่ย	3.44	24.19	32.30	43.56	54.42
80	ค่าต่ำสุด	3.30	15.14	22.71	30.21	43.31
	ค่าสูงสุด	3.57	17.34	26.01	39.00	49.57
	ค่าเฉลี่ย	3.44	16.48	24.34	34.94	46.44
100	ค่าต่ำสุด	3.30	10.98	18.30	26.23	39.31
	ค่าสูงสุด	3.57	13.78	20.54	35.11	45.44
	ค่าเฉลี่ย	3.44	12.61	19.41	30.81	42.37

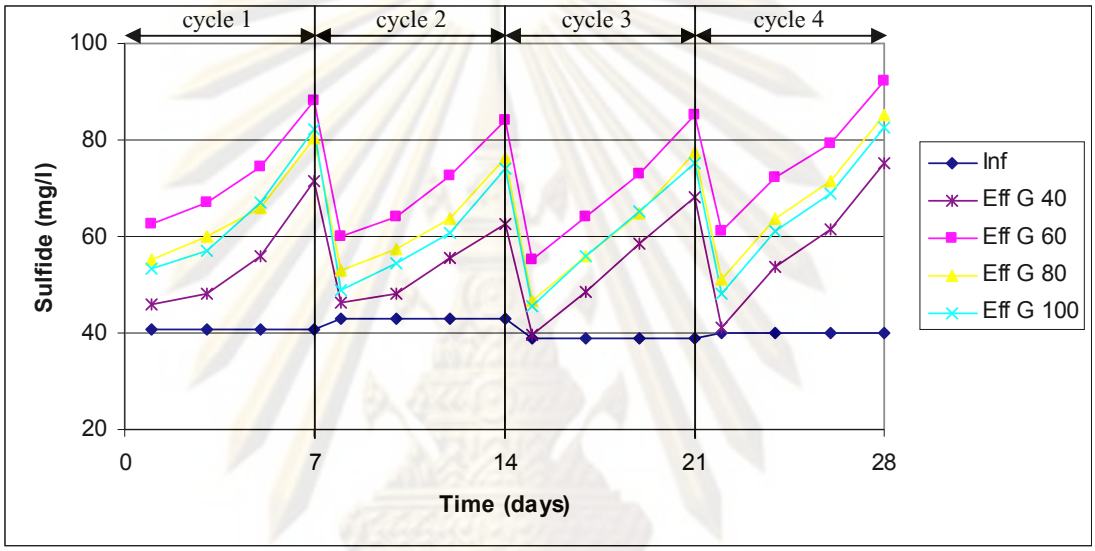
ตารางที่ 4.24 ค่าซัลไฟด์ (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ความลาดชันความเร็ว (ต่อวินาที)	ซัลไฟด์	(น้ำเข้า)	ซัลไฟด์ (น้ำออก) (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
			1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40	ค่าต่ำสุด	0.77	2.70	4.52	9.03	13.44
	ค่าสูงสุด	2.06	3.20	6.97	11.32	15.87
	ค่าเฉลี่ย	1.53	2.90	5.56	10.05	14.47
60	ค่าต่ำสุด	0.77	10.32	14.22	18.43	23.03
	ค่าสูงสุด	2.06	12.64	16.32	21.78	26.26
	ค่าเฉลี่ย	1.53	11.60	15.38	20.09	24.63
80	ค่าต่ำสุด	0.77	6.29	10.18	14.62	19.10
	ค่าสูงสุด	2.06	8.71	12.39	16.96	22.24
	ค่าเฉลี่ย	1.53	7.63	11.28	15.93	20.77
100	ค่าต่ำสุด	0.77	4.22	8.01	12.48	17.02
	ค่าสูงสุด	2.06	6.67	10.64	14.80	19.83
	ค่าเฉลี่ย	1.53	5.21	9.08	13.41	18.47

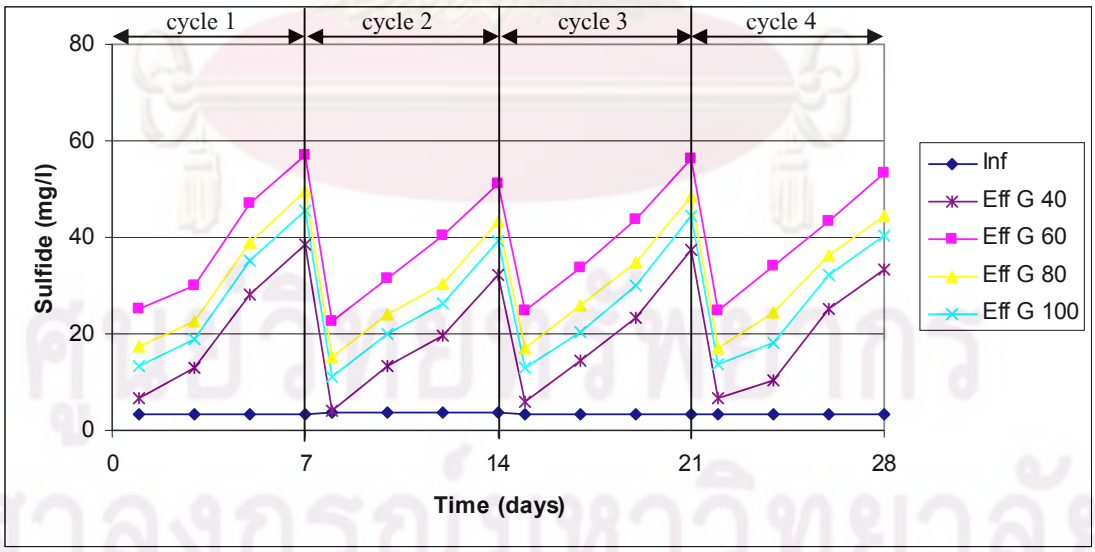
ตารางที่ 4.25 ค่าซัลไฟด์(อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ0.5กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ความลาดชันความเร็ว (ต่อวินาที)	ซัลไฟด์	(น้ำเข้า)	ซัลไฟด์ (น้ำออก) (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
			1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40	ค่าต่ำสุด	0.82	1.13	2.14	4.18	6.42
	ค่าสูงสุด	1.03	1.91	3.03	5.24	7.62
	ค่าเฉลี่ย	0.93	1.55	2.61	4.69	6.96
60	ค่าต่ำสุด	0.82	5.06	6.59	9.27	10.96
	ค่าสูงสุด	1.03	5.82	7.82	9.87	12.17
	ค่าเฉลี่ย	0.93	5.54	7.33	9.6	11.64
80	ค่าต่ำสุด	0.82	3.57	4.89	7.12	9.45
	ค่าสูงสุด	1.03	3.8	5.69	7.93	10.21
	ค่าเฉลี่ย	0.93	3.65	5.4	7.61	9.83
100	ค่าต่ำสุด	0.82	2.45	4.46	6.68	8.19
	ค่าสูงสุด	1.03	2.87	5.05	7.22	8.93
	ค่าเฉลี่ย	0.93	2.63	4.67	6.88	8.61

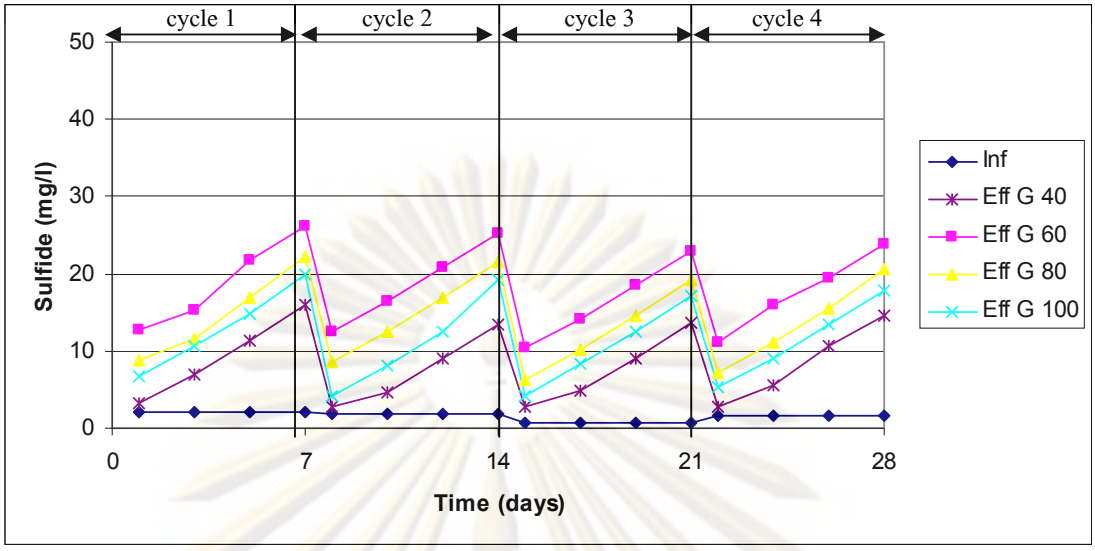
จากตารางที่ 4.22 – 4.25 และภาพที่ 4.35 – 4.38 จะเห็นได้ว่าปริมาณซัลไฟด์น้ำออกของทั้ง 4 ถังปฏิกรณ์มีค่าสูงกว่าปริมาณซัลไฟด์ของน้ำเข้าระบบในทุกอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์โดยความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที ระบบมีปริมาณซัลไฟด์ของน้ำเสียที่ออกจากระบบมากที่สุด รองลงมาคือ ความลาดชันความเร็ว 80, 100 และ40 ต่อวินาที ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตที่มากขึ้น การที่ปริมาณซัลไฟด์เฉลี่ยของน้ำออกมีค่าเพิ่มขึ้นนั้นเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาซัลเฟตรีดักชัน โดยแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตในการเปลี่ยนซัลเฟตในระบบให้อยู่ในรูปของซัลไฟด์



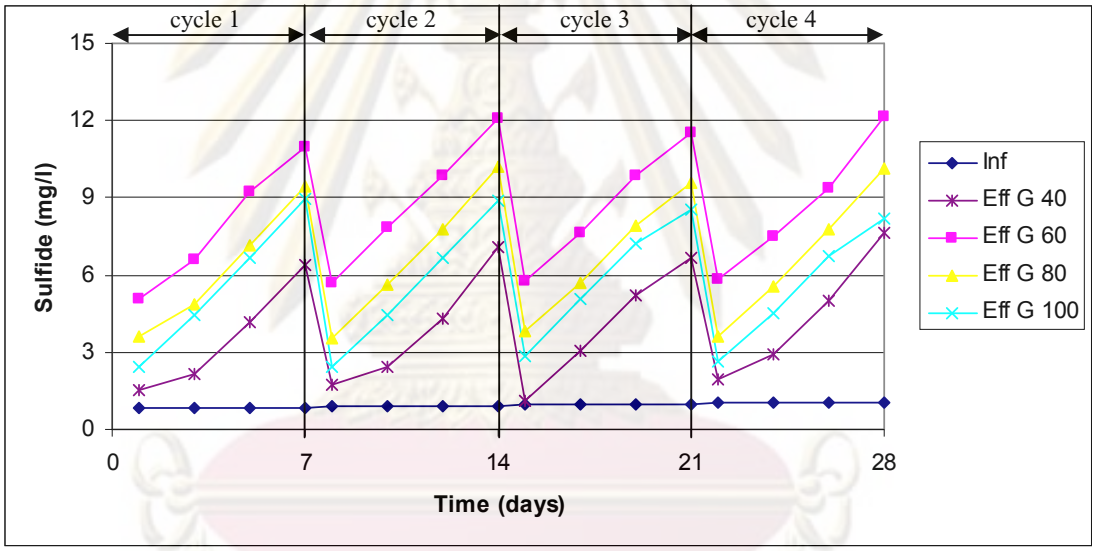
ภาพที่ 4.35 ค่าซัลไฟด์ (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)



ภาพที่ 4.36 ค่าซัลไฟด์(อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)



ภาพที่ 4.37 ค่าซัลไฟด์(อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)



ภาพที่ 4.38 ค่าซัลไฟด์(อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.2.9 ก๊าซชีวภาพ

ปริมาณก๊าซชีวภาพของน้ำเสียยางข้นที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3, 2, 1 และ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ความลาดชันความเร็วเท่ากับ 40, 60, 80 และ 100 ต่อวินาที ซึ่งแต่ละจำนวนรอบเวลาเดินระบบเท่ากับ 1, 3, 5 และ 7 วัน ตามลำดับ สำหรับปริมาณก๊าซชีวภาพแสดงดังตารางที่ 4.26 - 4.29 และภาพที่ 4.39 - 4.42

ตารางที่ 4.26 ก๊าซชีวภาพ(อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ความลาดชันความเร็ว (ต่อวินาที)	ก๊าซชีวภาพ	ก๊าซชีวภาพ (น้ำออก) (มิลลิลิตรต่อวัน)			
		1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40	ค่าต่ำสุด	124	162	202	254
	ค่าสูงสุด	132	171	212	268
	ค่าเฉลี่ย	128	167	207	261
60	ค่าต่ำสุด	178	225	269	328
	ค่าสูงสุด	185	234	282	336
	ค่าเฉลี่ย	182	229	275	332
80	ค่าต่ำสุด	147	182	221	282
	ค่าสูงสุด	162	194	240	298
	ค่าเฉลี่ย	154	187	231	290
100	ค่าต่ำสุด	142	176	215	272
	ค่าสูงสุด	150	184	238	288
	ค่าเฉลี่ย	145	179	228	280

ตารางที่ 4.27 ก๊าซชีวภาพ(อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ความลาดชันความเร็ว (ต่อวินาที)	ก๊าซชีวภาพ	ก๊าซชีวภาพ (น้ำออก) (มิลลิลิตรต่อวัน)			
		1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40	ค่าต่ำสุด	80	108	134	168
	ค่าสูงสุด	86	114	140	178
	ค่าเฉลี่ย	83	111	137	173
60	ค่าต่ำสุด	118	150	179	216
	ค่าสูงสุด	124	158	188	224
	ค่าเฉลี่ย	121	154	184	221
80	ค่าต่ำสุด	98	122	144	188
	ค่าสูงสุด	108	130	160	198
	ค่าเฉลี่ย	103	125	152	193
100	ค่าต่ำสุด	94	112	142	180
	ค่าสูงสุด	98	122	158	192
	ค่าเฉลี่ย	95	117	151	186

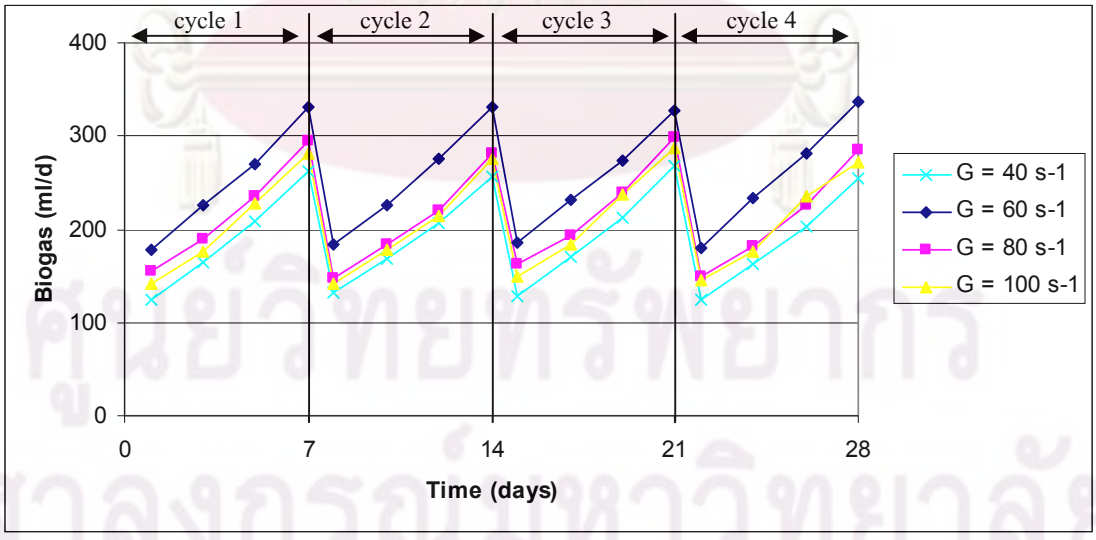
ตารางที่ 4.28 ก๊าซชีวภาพ(อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ความลาดชันความเร็ว (ต่อวินาที)	ก๊าซชีวภาพ	ก๊าซชีวภาพ (น้ำออก) (มิลลิลิตรต่อวัน)			
		1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40	ค่าต่ำสุด	36	52	64	81
	ค่าสูงสุด	46	56	72	88
	ค่าเฉลี่ย	41	54	67	84
60	ค่าต่ำสุด	56	70	76	106
	ค่าสูงสุด	64	77	96	112
	ค่าเฉลี่ย	60	74	88	109
80	ค่าต่ำสุด	46	59	67	90
	ค่าสูงสุด	54	62	78	100
	ค่าเฉลี่ย	49	60	74	94
100	ค่าต่ำสุด	44	52	70	88
	ค่าสูงสุด	48	64	82	96
	ค่าเฉลี่ย	46	58	76	91

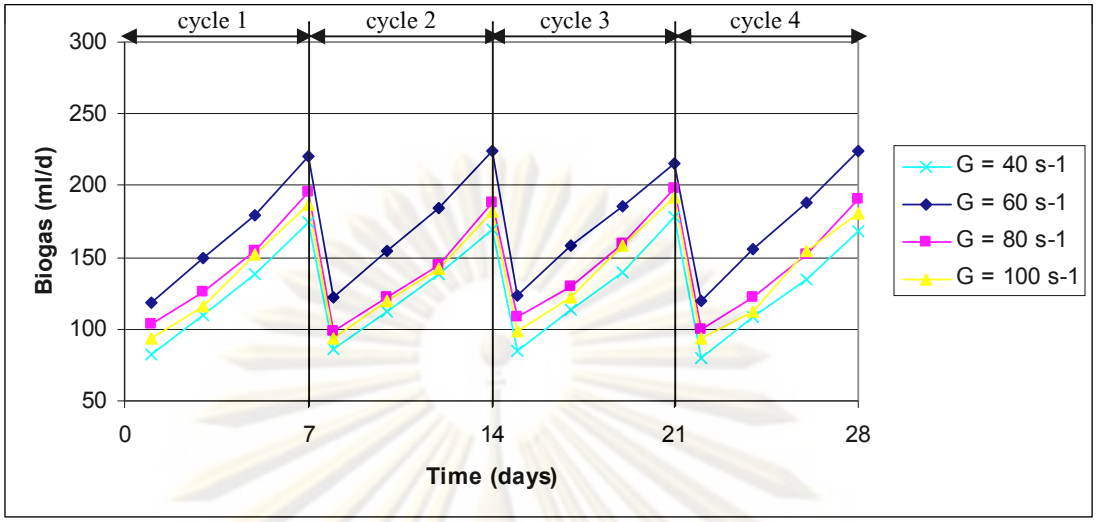
ตารางที่4.29ก๊าซชีวภาพ(อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ0.5กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ความลาดชันความเร็ว (ต่อวินาที)	ก๊าซชีวภาพ	ก๊าซชีวภาพ (น้ำออก) (มิลลิลิตรต่อวัน)			
		1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40	ค่าต่ำสุด	14	17	24	31
	ค่าสูงสุด	17	22	30	37
	ค่าเฉลี่ย	15	19	26	34
60	ค่าต่ำสุด	26	32	35	50
	ค่าสูงสุด	33	36	45	53
	ค่าเฉลี่ย	29	34	41	52
80	ค่าต่ำสุด	20	26	30	41
	ค่าสูงสุด	24	31	37	47
	ค่าเฉลี่ย	22	29	34	45
100	ค่าต่ำสุด	17	22	29	37
	ค่าสูงสุด	20	27	34	42
	ค่าเฉลี่ย	19	24	31	40

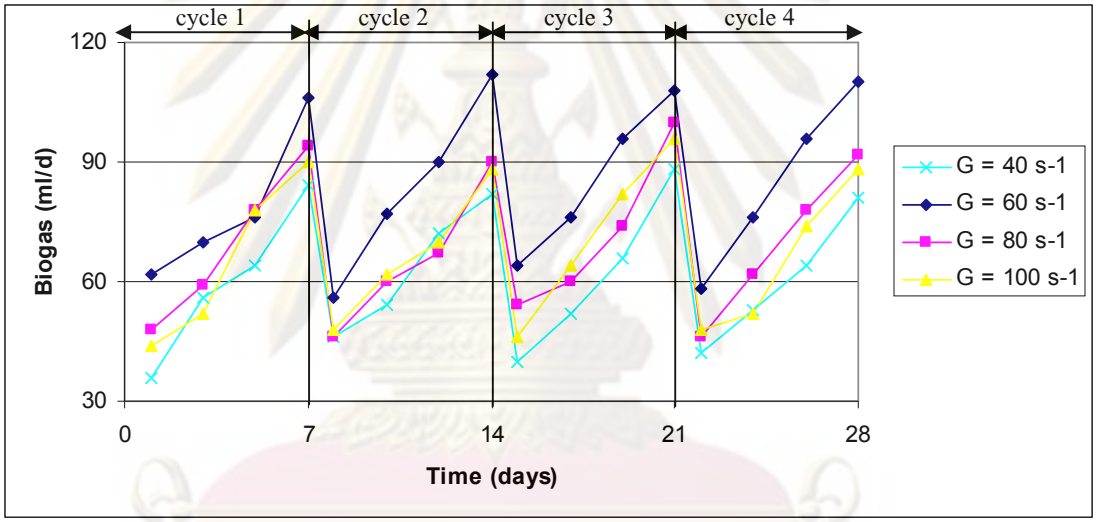
จากตารางที่ 4.26 – 4.29 และภาพที่ 4.39 – 4.42 จะเห็นได้ว่าทุกๆ จำนวนรอบเวลาเดินระบบ มีทิศทางหรือแนวโน้มไปในแนวทางเดียวกัน โดยพบว่าระบบอยู่ในสภาวะคงที่ (Steady State) ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ระบบสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้มากที่สุดที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาทีมากกว่า 40, 80 และ 100 ต่อวินาที ตามลำดับ เนื่องจากในระบบมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ ในน้ำเสีย โดยมีแบคทีเรียแบบไม่ใช้ออกซิเจนเจริญเติบโตอยู่ภายในระบบ โดยที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุดนั้น แสดงว่าระบบสามารถกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้ ซึ่งสารอินทรีย์ส่วนใหญ่ถูกกำจัดและเปลี่ยนรูปเป็นก๊าซชีวภาพ โดยแบคทีเรียสร้างมีเทน (Methane Producing Bacteria) โดยสอดคล้องกับประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี สำหรับความลาดชันความเร็ว 80 และ 100 ต่อวินาที อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพค่อนข้างใกล้เคียงกัน อาจเกิดจากลักษณะการกวนที่เร็วเกินไป ทำให้เกิดการปั่นป่วนภายในระบบ และที่ความลาดชันความเร็ว 40 ต่อวินาที อัตราการผลิตก๊าซค่อนข้างน้อย อาจเนื่องมาจากลักษณะการกวนที่ช้าเกินไป ส่งผลให้เกิดการสะสมของสารพิษต่างๆ ในระบบ ซึ่งจะทำให้เกิดการยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทนได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (อลิสรา วงศ์กิตติวิมล, 2543) พบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีค่อนข้างน้อย เนื่องจากในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้น มีปริมาณความเข้มข้นของซัลเฟตสูง และเกิดปฏิกิริยาซัลเฟตรีดักชั่นดังที่กล่าวไปแล้ว แต่เมื่อลดอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2, 1 และ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน พบว่าระบบสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้น้อยลง ตามลำดับ เนื่องมาจากความเข้มข้นของซีโอดีค่อนข้างต่ำ จึงทำให้ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีค่อนข้างน้อย



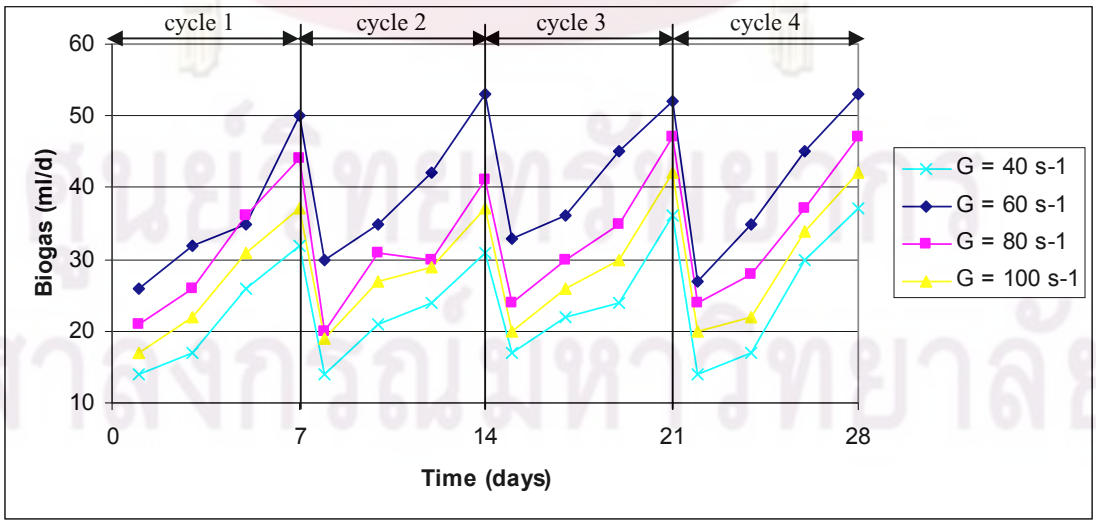
ภาพที่ 4.39 ก๊าซชีวภาพ (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)



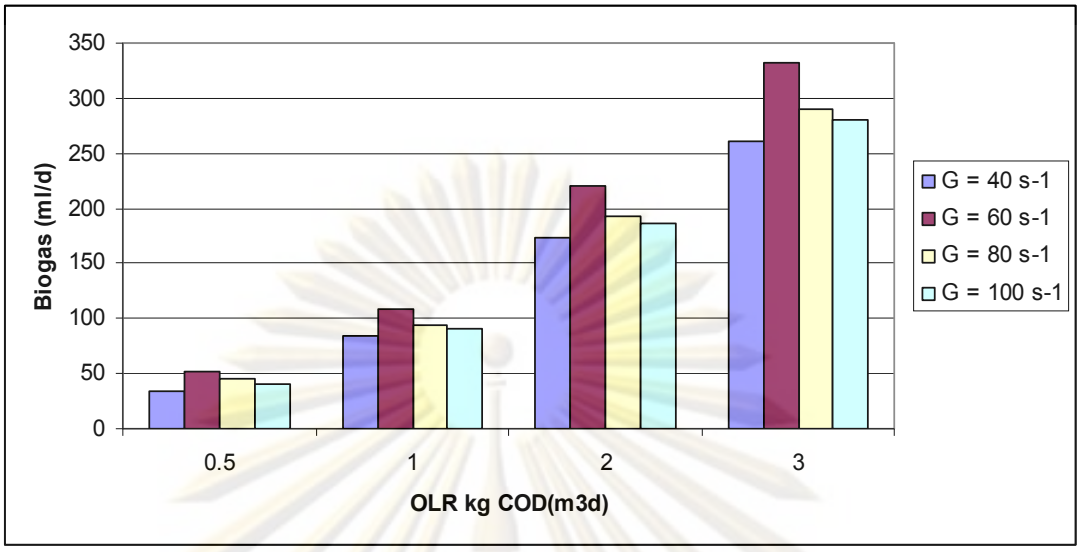
ภาพที่ 4.40 ก๊าซชีวภาพ (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)



ภาพที่ 4.41 ก๊าซชีวภาพ (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)



ภาพที่ 4.42 ก๊าซชีวภาพ(อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)



ภาพที่ 4.43 ก๊าซชีวภาพ (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5, 1, 2 และ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

4.1.2.10 สัดส่วนก๊าซมีเทน

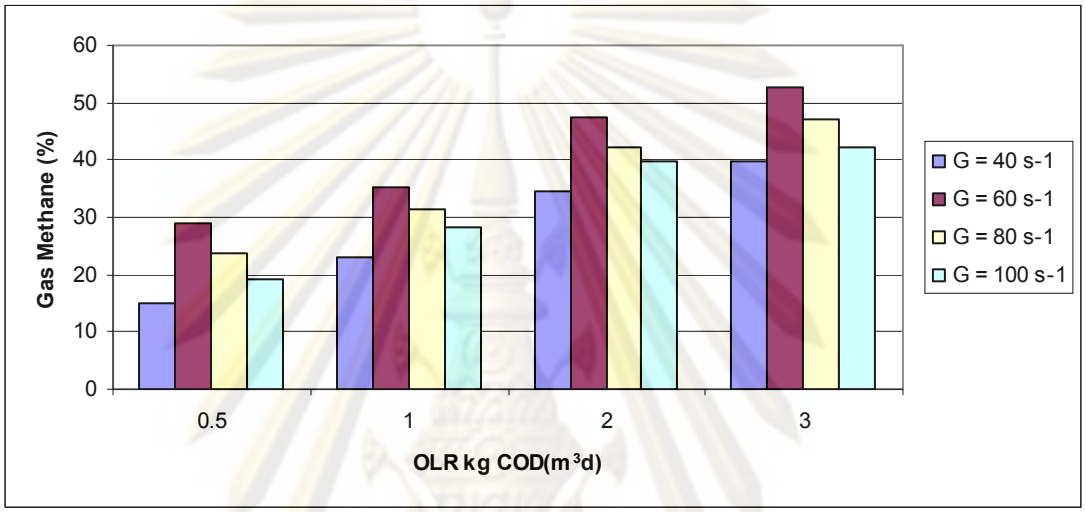
สัดส่วนก๊าซมีเทนของน้ำเสียยางข้นที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5, 1, 2 และ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน โดยมีความลาดชันความเร็วเท่ากับ 40, 60, 80 และ 100 ต่อวินาที ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4.30 และภาพที่ 4.44

ตารางที่ 4.30 สัดส่วนก๊าซมีเทน (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5, 1, 2 และ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ความลาดชันความเร็ว (ต่อวินาที)	อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)			
	0.5	1	2	3
40	14.92	23.08	34.44	39.93
60	28.98	35.17	47.52	52.71
80	23.78	31.36	42.32	47.16
100	19.15	28.42	39.78	42.38

จากตารางที่ 4.30 และภาพที่ 4.44 พบว่ามีปริมาณสัดส่วนก๊าซมีเทนของระบบที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ที่ความลาดชันความเร็ว 40, 60, 80 และ 100 ต่อวินาที คิดเป็น 39.93, 52.71, 47.16 และ 42.38 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับปริมาณสัดส่วนก๊าซมีเทนของระบบที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ที่ความลาดชันความเร็ว 40, 60, 80 และ 100 ต่อวินาที คิดเป็น 34.44, 47.52, 42.32 และ 39.78 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับปริมาณสัดส่วนก๊าซมีเทนของระบบที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์

1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ที่ความลาดชันความเร็ว 40, 60, 80 และ 100 ต่อวินาที คิดเป็น 23.08, 35.17, 31.36 และ 28.42 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และสำหรับปริมาณสัดส่วนก๊าซมีเทนของระบบที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ที่ความลาดชันความเร็ว 40, 60, 80 และ 100 ต่อวินาที คิดเป็น 14.92, 28.98, 23.78 และ 19.15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจะมีน้อยมาก เมื่อพิจารณาจากค่าซีโอดีที่ถูกใช้ไปในการเกิดปฏิกิริยารีดักชันซัลเฟตมีค่าสูง แสดงว่าแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต (SRB) นั้นเข้าไปแย่งอาหารกับแบคทีเรียสร้างมีเทน (MPB) จึงมีการผลิตก๊าซมีเทนออกมาน้อย



ภาพที่ 4.44 สัดส่วนก๊าซมีเทนของระบบ (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5, 1, 2 และ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

4.2 การวิจารณ์ผลของความลาดชันความเร็วและอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่อการบำบัดน้ำเสียยางข้นโดยใช้ระบบเอเอสบีอาร์

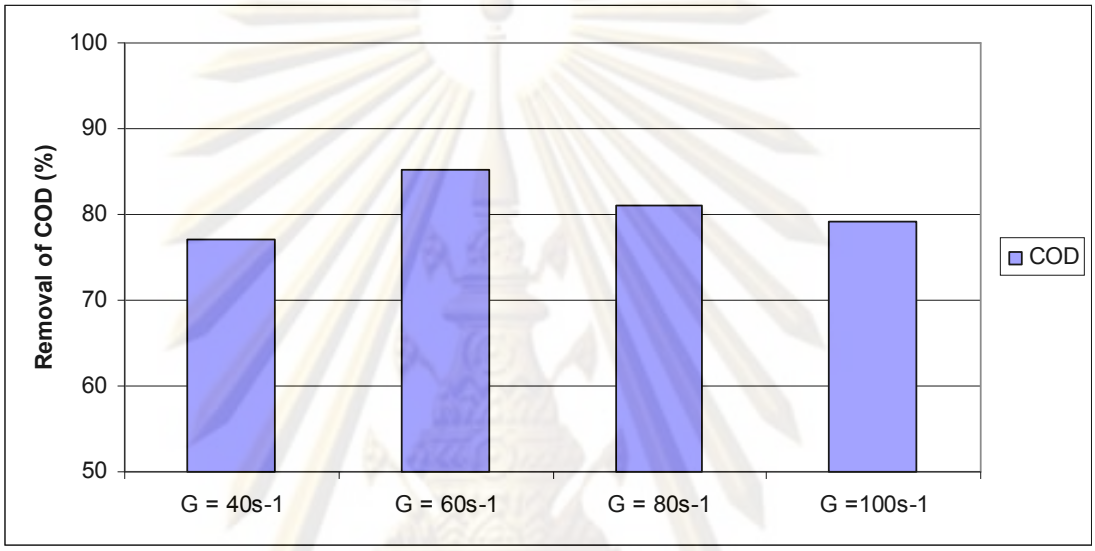
4.2.1 ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด

จากผลการทดลองที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5, 1, 2 และ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ความลาดชันความเร็วแตกต่างกันจะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ดูที่ภาคผนวก ข) ความลาดชันความเร็วเท่ากับ 40, 60, 80 และ 100 ต่อวินาที ซึ่งแต่ละจำนวนรอบเวลาเดินระบบเท่ากับ 1, 3, 5 และ 7 วัน ตามลำดับ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน พบว่าที่ความลาดชันความเร็ว 40 ต่อวินาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 69.87, 72.7, 75.77 และ 77.05 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 77.91, 80.59, 82.97 และ 85.22 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 80 ต่อวินาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ

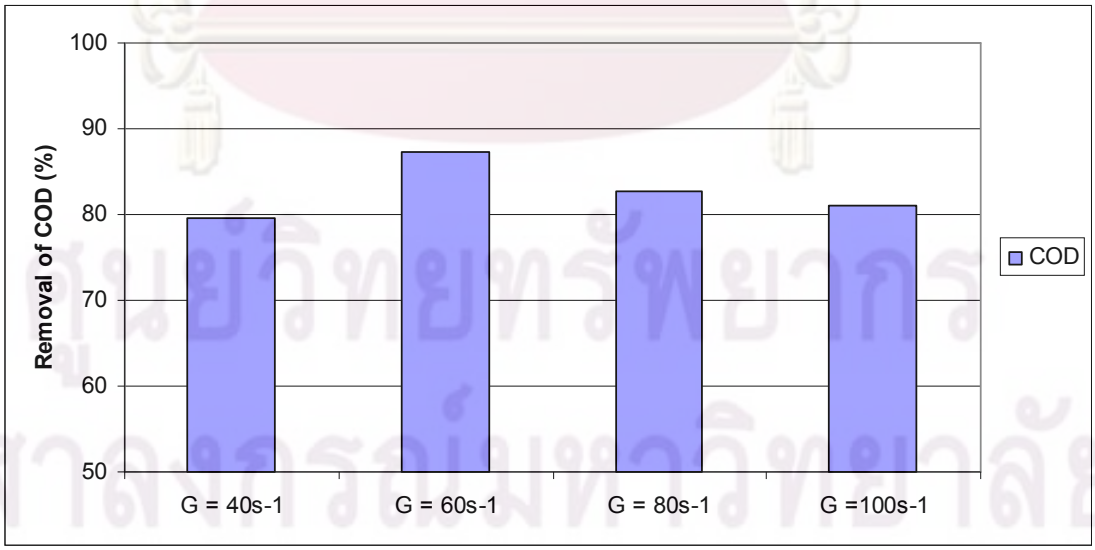
73.46, 76.81, 78.9 และ 80.97 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และที่ความลาดชันความเร็ว 100 ต่อวินาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 70.78, 74.89, 77.22 และ 79.19 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีแสดงได้ดังภาพที่ 4.45 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน พบว่าที่ความลาดชันความเร็ว 40 ต่อวินาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 74.6, 75.6, 76.7 และ 79.57 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 81.1, 82.7, 83.93 และ 87.28 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 80 ต่อวินาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 78.12, 79.51, 80.53 และ 82.72 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และที่ความลาดชันความเร็ว 100 ต่อวินาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 76.03, 76.73, 77.65 และ 80.97 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีแสดงได้ ดังภาพที่ 4.46 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน พบว่าที่ความลาดชันความเร็ว 40 ต่อวินาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 75.55, 77.12, 79.95 และ 80.95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที มีประสิทธิภาพใน การกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 82.1, 83.89, 86.11 และ 89.63 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 80 ต่อวินาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 80.34, 81.5, 82.71 และ 85.54 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และที่ความลาดชันความเร็ว 100 ต่อวินาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 77.9, 80.38, 83.97 และ 85.28 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีแสดงได้ดังภาพที่ 4.47 และที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน พบว่าที่ความลาดชันความเร็ว 40 ต่อวินาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 76.74, 78.62, 80.53 และ 85.05 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 85.83, 86.78, 88.56 และ 93.35 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 80 ต่อวินาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 84.13, 85.7, 86.94 และ 90.65 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และที่ความลาดชันความเร็ว 100 ต่อวินาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 81.68, 83.02, 85.1 และ 88.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีแสดงได้ดังภาพที่ 4.48

จากผลการทดลองดังกล่าวข้างต้น พบว่าที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูงสุด แต่เมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1, 2 และ 3 พบว่าระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีลดลง โดยที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมากที่สุด รองลงมาคือ ที่ความลาดชันความเร็ว 80, 100 และ 40 ต่อวินาที ทั้งนี้เนื่องจากความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที ระบบมีการกวนที่สมบูรณ์ ทำให้ระบบเกิดปฏิกิริยาได้อย่างรวดเร็วและทั่วถึง จึงทำให้แบคทีเรียมีโอกาสได้รับสารอินทรีย์หรือสารต่าง ๆ ที่แบคทีเรียขับออกจากกระบวนการย่อยสลายมีการกระจายที่ดีขึ้น จึงทำให้สารอินทรีย์ในรูปซีโอดีถูกย่อยสลายได้มากขึ้น สำหรับความลาดชัน

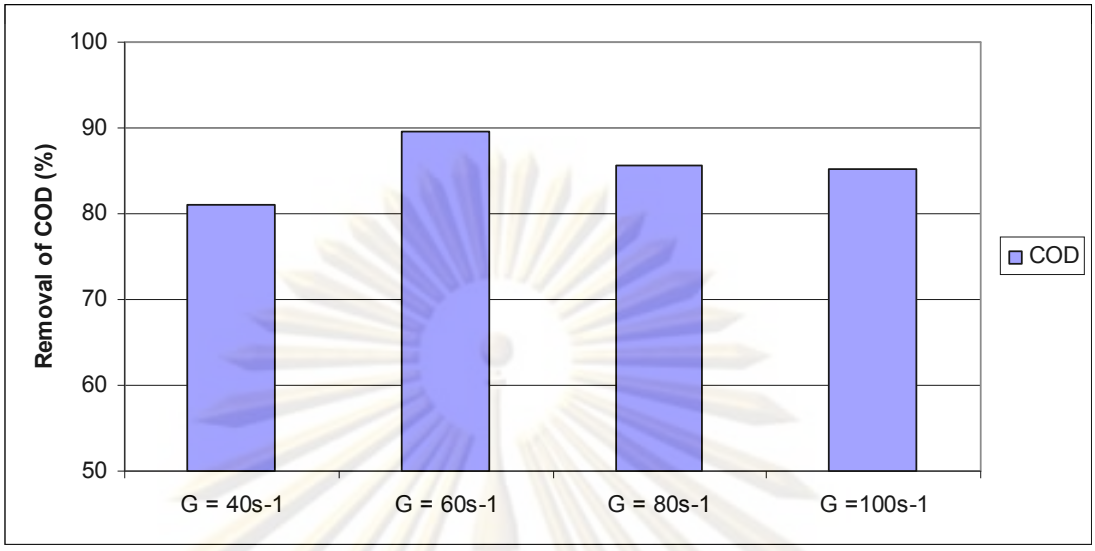
ความเร็ว 80 และ 100 ต่อวินาที ตามลำดับ ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีลดลง สังเกตได้จากลักษณะการกวนที่เร็วและค่อนข้างรุนแรง ส่งผลทำให้ระบบปั่นป่วน จุลินทรีย์ในระบบไม่สามารถปรับตัวอยู่ได้ จึงทำให้ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีลดลง และในขณะเดียวกันที่ความลาดชันความเร็ว 40 ต่อวินาที ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีน้อยที่สุด เนื่องจากลักษณะการกวนที่ค่อนข้างช้าและเบา สังเกตการกระจายจุลินทรีย์ภายในถังไม่ทั่วถึง ทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ไม่ดี เมื่อเทียบกับความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที



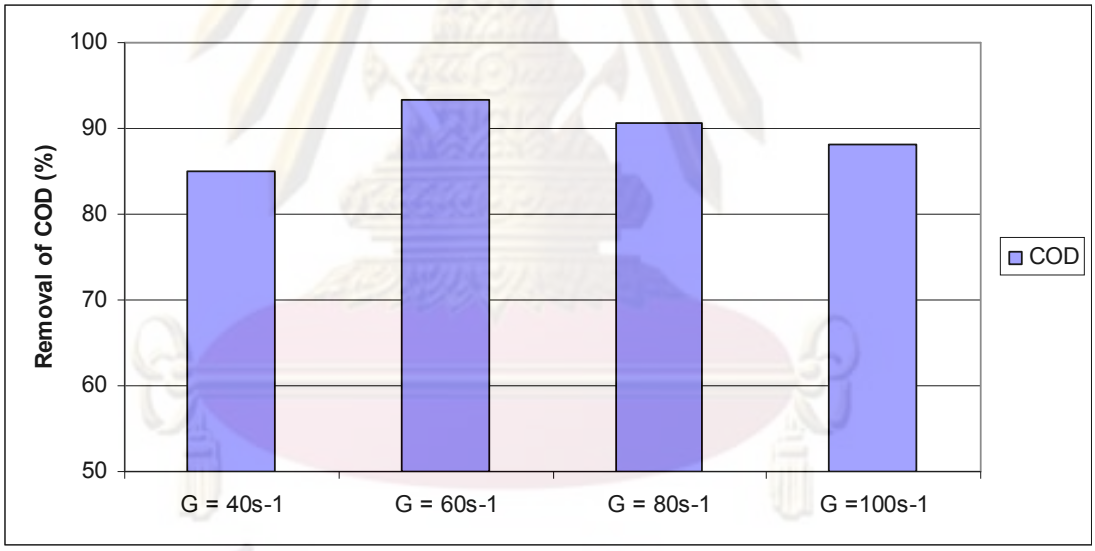
ภาพที่ 4.45 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีที่ความลาดชันความเร็วที่แตกต่างกัน (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)



ภาพที่ 4.46 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีที่ความลาดชันความเร็วที่แตกต่างกัน (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

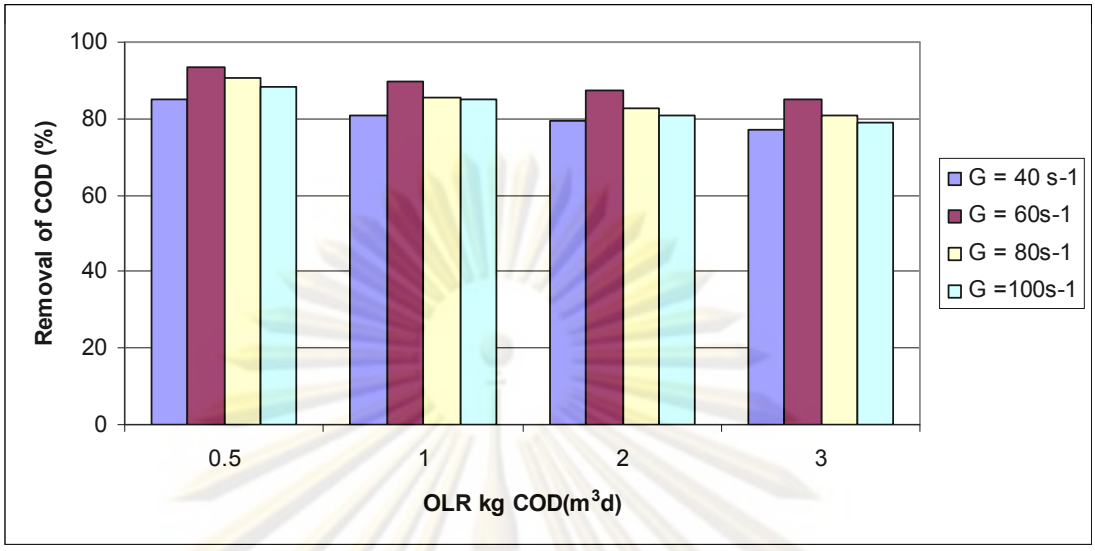


ภาพที่ 4.47 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีที่ความลาดชันความเร็วที่แตกต่างกัน (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)



ภาพที่ 4.48 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีที่ความลาดชันความเร็วที่แตกต่างกัน (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

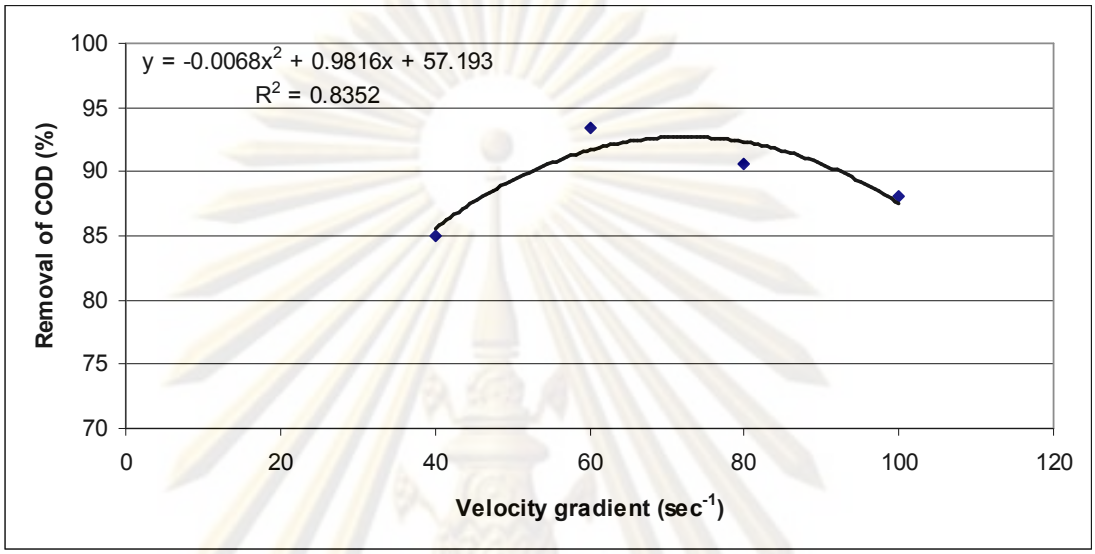
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



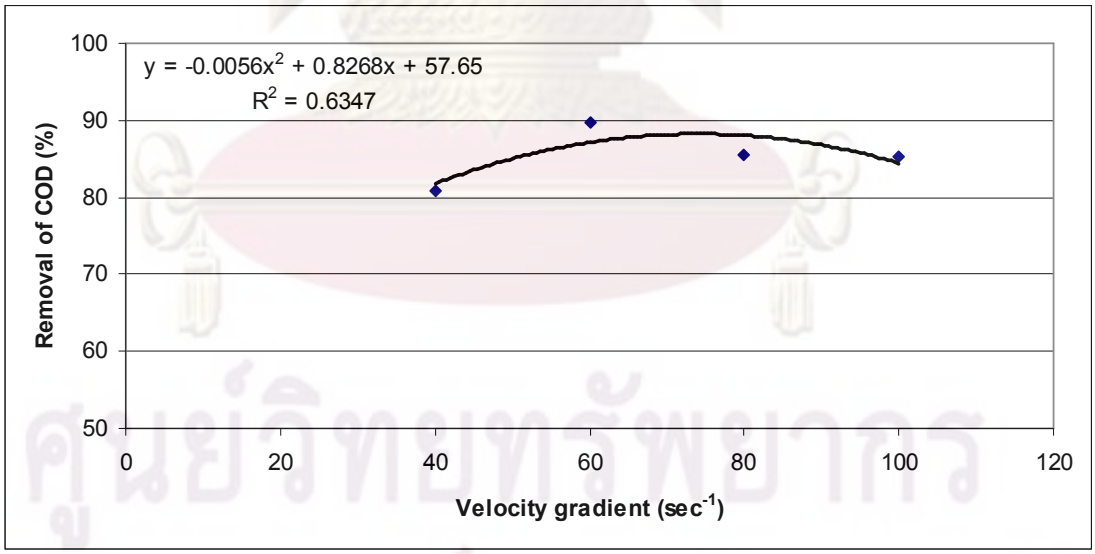
ภาพที่ 4.49 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีต่ออัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ความลาดชันความเร็วแตกต่างกัน

จากผลการทดลองประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีที่ความลาดชันความเร็วต่างๆ ปัจจัยหนึ่งที่มีผลให้การกำจัดซีโอดีสำหรับการทดลองในครั้งนี้คือการกวน เนื่องจากการกวนน้ำเสียให้สัมผัสกับเชื้อจุลินทรีย์ทำให้การย่อยสลายเกิดได้ทั่วถึงขึ้น แต่การกวนในระดับที่สูงเกินไปส่งผลลบต่อแบคทีเรียกลุ่มสร้างแก๊สมีเทน โดยแบคทีเรียกลุ่มดังกล่าวมีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียให้กลายเป็นแก๊สมีเทนปลดปล่อยออกจากระบบ ดังนั้นเมื่อแบคทีเรียดังกล่าวลดจำนวนลงการกำจัดซีโอดีก็ย่อมเกิดต่ำลงเช่นกัน และเมื่อนำประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีที่ได้มาเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์กับความลาดชันความเร็ว พบว่ามีความสัมพันธ์เป็นกราฟพาราโบลาคว่ำ สามารถแสดงดังภาพที่ 4.50-4.53 โดยที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ได้สมการความสัมพันธ์ คือ $y = -0.0068x^2 + 0.9816x + 57.193$ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ได้สมการความสัมพันธ์คือ $y = -0.0056x^2 + 0.8268x + 57.65$ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ได้สมการความสัมพันธ์คือ $y = -0.0059x^2 + 0.8259x + 56.746$ และที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ได้สมการความสัมพันธ์คือ $y = -0.0062x^2 + 0.8815x + 52.486$ จากสมการเมื่อคำนวณหาจุดสูงสุดของกราฟเพื่อหาความลาดชันความเร็วที่เหมาะสมและประสิทธิภาพที่สามารถกำจัดซีโอดีที่เกิดขึ้นได้สูงสุด ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน พบว่าความลาดชันความเร็วที่เหมาะสมที่สุดคือ 72 ต่อวินาที สามารถกำจัดซีโอดีสูงสุด 92.62 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน พบว่าความลาดชันความเร็วที่เหมาะสมที่สุดคือ 73 ต่อวินาที สามารถกำจัดซีโอดีสูงสุด

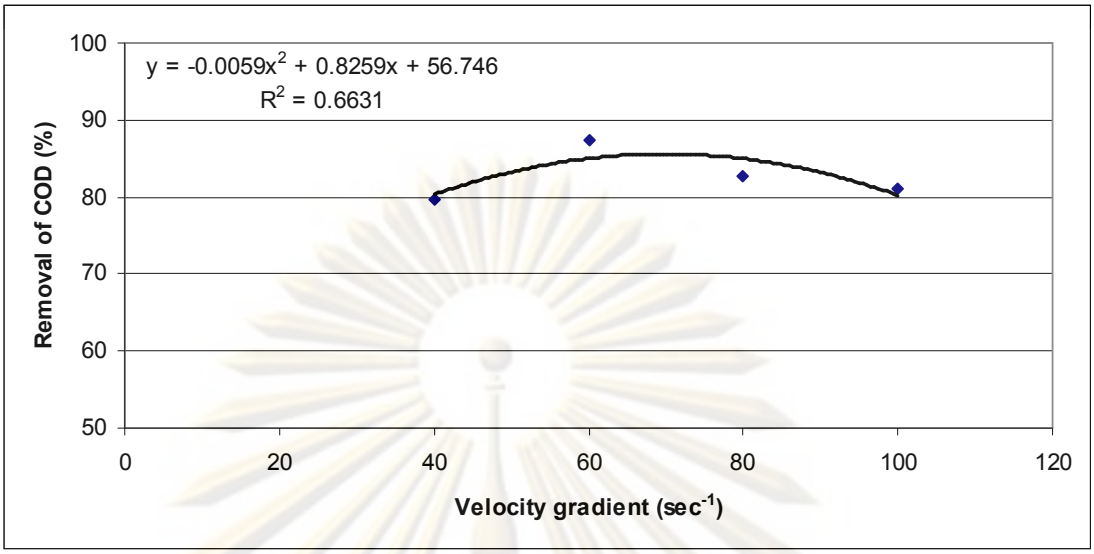
88.16 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน พบว่าความลาดชันความเร็วที่เหมาะสมที่สุดคือ 70 ต่อวินาที สามารถกำจัดซีโอดีสูงสุด 85.65 เปอร์เซ็นต์ และที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน พบว่าความลาดชันความเร็วที่เหมาะสมที่สุดคือ 71 ต่อวินาที สามารถกำจัดซีโอดีสูงสุด 83.82 เปอร์เซ็นต์



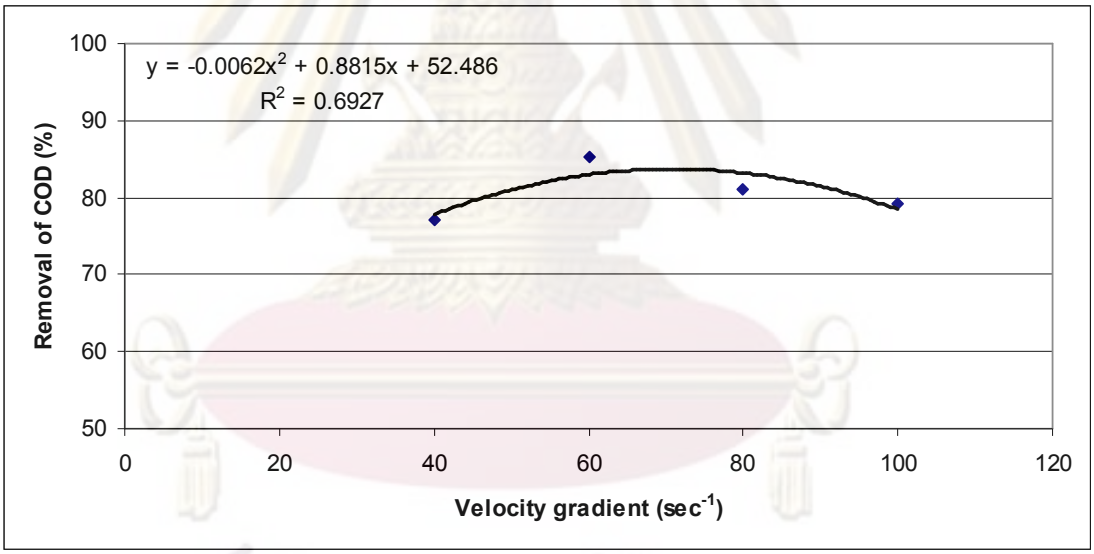
ภาพที่ 4.50 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีกับความลาดชันความเร็ว (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน



ภาพที่ 4.51 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีกับความลาดชันความเร็ว (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)



ภาพที่ 4.52 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีกับความลาดชันความเร็ว (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)



ภาพที่ 4.53 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีกับความลาดชันความเร็ว (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

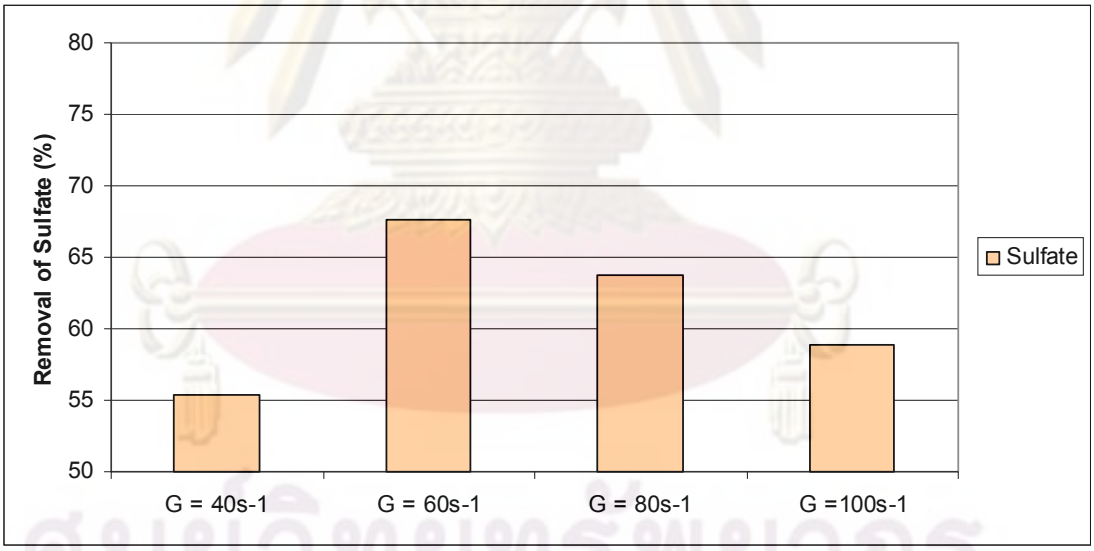
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.2 ซัลเฟตและประสิทธิภาพการกำจัด

จากผลการทดลองพบว่าที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5, 1, 2 และ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ความลาดชันความเร็วแตกต่างกันจะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ดูที่ภาคผนวก ข) ความลาดชันความเร็วเท่ากับ 40, 60, 80 และ 100 ต่อวินาที ซึ่งแต่ละจำนวนรอบเวลาเดินระบบเท่ากับ 1, 3, 5 และ 7 วัน ตามลำดับ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน พบว่าที่ความลาดชันความเร็ว 40 ต่อวินาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 35.23, 42.08, 50.19 และ 55.35 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที มีประสิทธิภาพใน การกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 42.32, 50.54, 59.07 และ 67.66 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 80 ต่อวินาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 40.55, 47.23, 57.75 และ 63.79 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และที่ความลาดชันความเร็ว 100 ต่อวินาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 38.04, 45.05, 54.03 และ 58.85 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตแสดงได้ดังภาพที่ 4.54 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน พบว่าที่ความลาดชันความเร็ว 40 ต่อวินาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 38.57, 45.51, 52.9 และ 60.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 46, 52.77, 60.47 และ 68.44 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 80 ต่อวินาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 44.03, 51.18, 57.7 และ 66.35 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และที่ความลาดชันความเร็ว 100 ต่อวินาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 41.7, 48.73, 55.39 และ 63.05 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตแสดงได้ดังภาพที่ 4.55 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน พบว่าที่ความลาดชันความเร็ว 40 ต่อวินาที มีประสิทธิภาพใน การกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 45.6, 56.06, 62.01 และ 69.98 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 54.26, 61.29, 65.57 และ 73.98 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 80 ต่อวินาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 52.56, 59.49, 65.06 และ 73.63 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และที่ความลาดชันความเร็ว 100 ต่อวินาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 48.24, 57.4, 62.7 และ 70.98 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตแสดงได้ดังภาพที่ 4.56 และที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน พบว่าที่ความลาดชันความเร็ว 40 ต่อวินาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 63.36, 67.38, 70.38 และ 77.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 78.26, 81.32, 89.06 และ 93.08 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 80 ต่อวินาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 70.35, 78.88, 81.78 และ

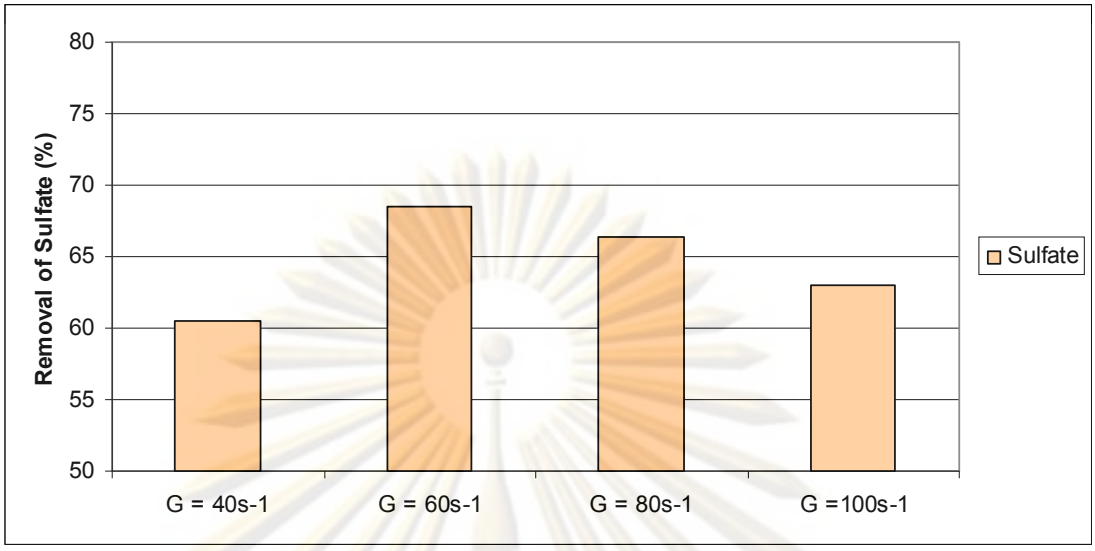
88.11 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และที่ความลาดชันความเร็ว 100 ต่อวินาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 68.38, 70.82, 84.55 และ 79.74 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตแสดงได้ดังภาพที่ 4.57

จากผลการทดลองดังกล่าวข้างต้น พบว่าที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร-วัน ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตสูงสุด แต่เมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1, 2 และ 3พบว่าระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตลดลง โดยที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตมากที่สุด รองลงมาคือ ที่ความลาดชันความเร็ว 80, 100 และ 40 ต่อวินาที ทั้งนี้เนื่องจากความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที ทั้งนี้เนื่องจากระบบมีปฏิกิริยาซัลเฟตรีดักชั่นเข้ามาเกี่ยวข้อง โดยรีดิวซ์ซัลเฟตเป็นซัลไฟด์ จึงส่งผลทำให้ซัลเฟตในระบบลดลง ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (จันทิมา สกุลพานิชัย, 2548) ซึ่งเป็นน้ำเสียที่มีซัลเฟตเป็นองค์ประกอบเช่นเดียวกัน พบว่าแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต (SRB) ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดซัลเฟตนั้น สามารถเจริญเติบโตขึ้นมาในน้ำเสียนี้ได้ และเปลี่ยนรูปซัลเฟตไปอยู่ในรูปอื่นๆ ได้ ทำให้ความเข้มข้นของซัลเฟตในน้ำออกลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของซัลไฟด์ที่มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น

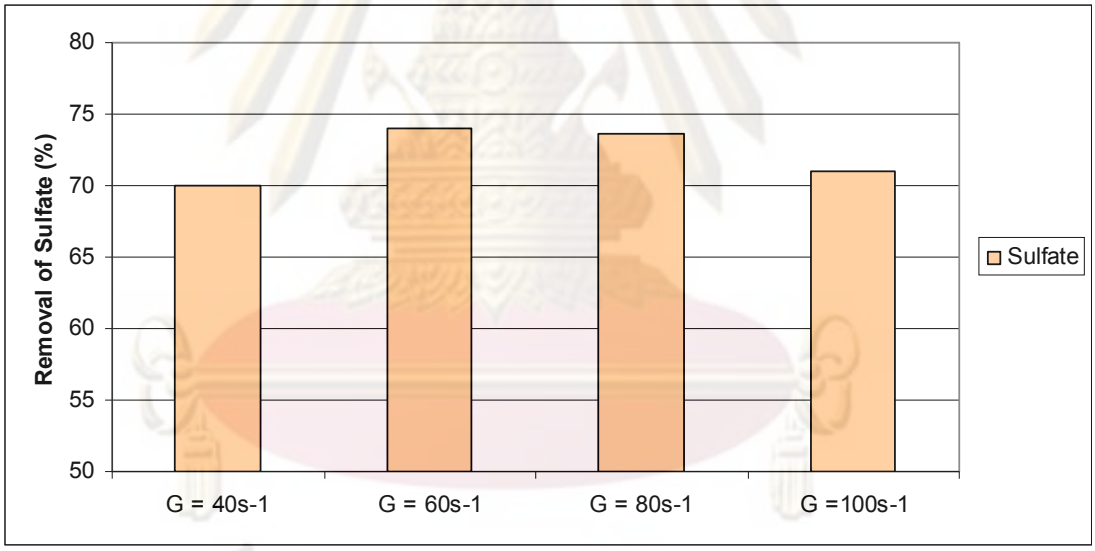


ภาพที่ 4.54 ประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตที่ความลาดชันความเร็วที่แตกต่างกัน (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

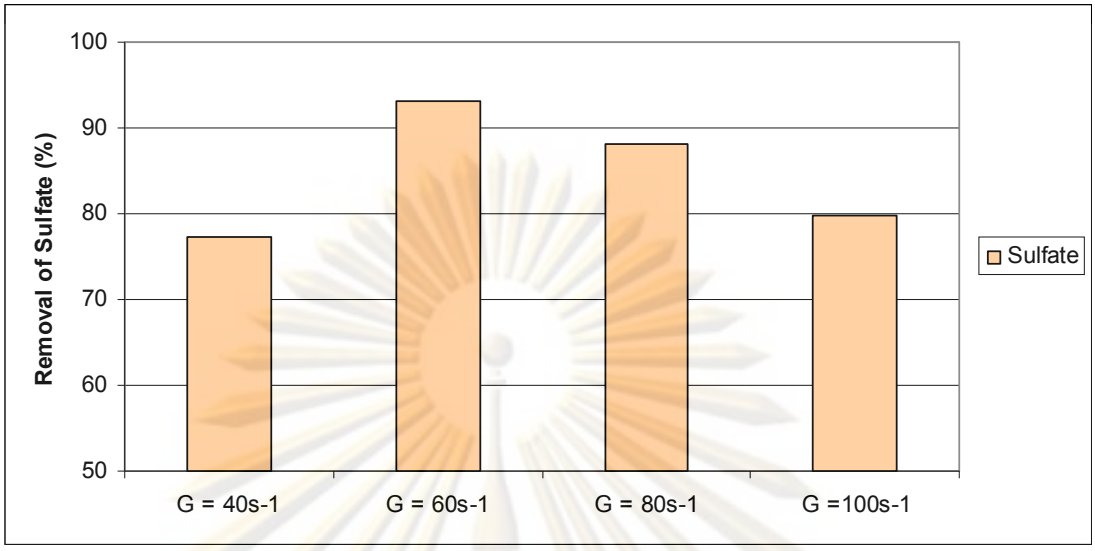


ภาพที่ 4.55 ประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตที่ความลาดชันความเร็วที่แตกต่างกัน (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

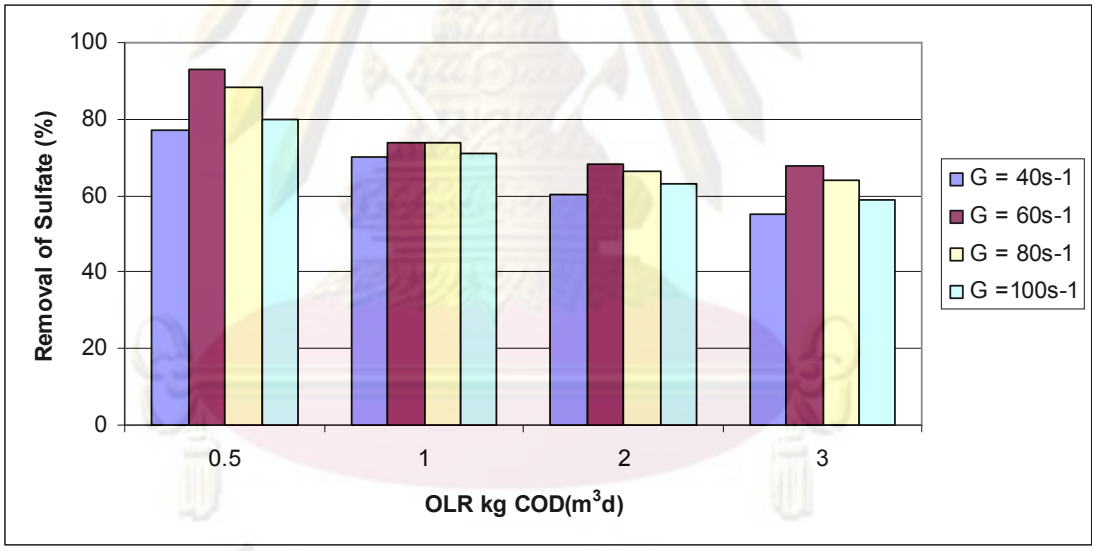


ภาพที่ 4.56 ประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตที่ความลาดชันความเร็วที่แตกต่างกัน (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



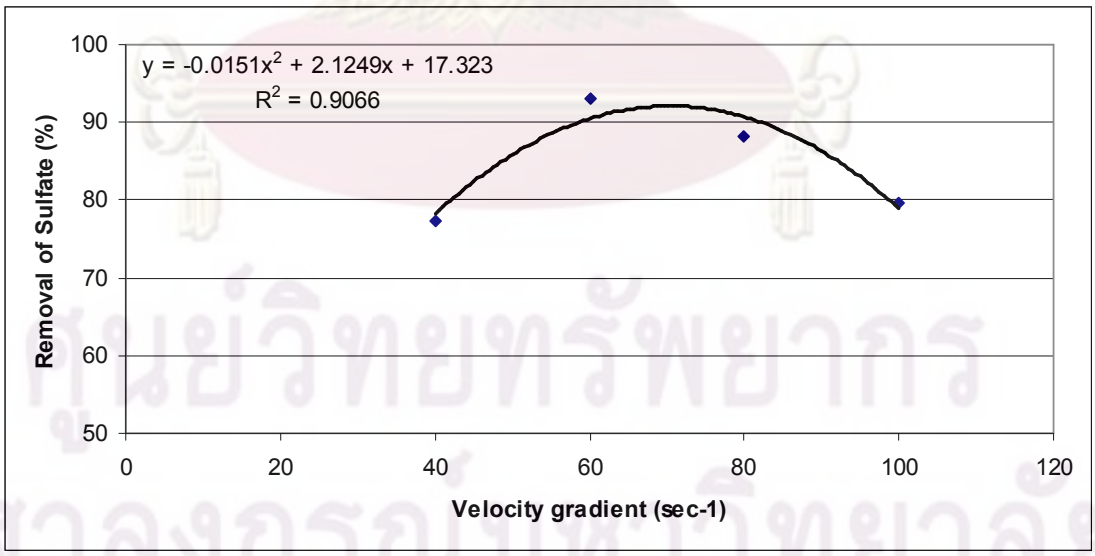
ภาพที่ 4.57 ประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตที่ความลาดชันความเร็วที่แตกต่างกัน (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)



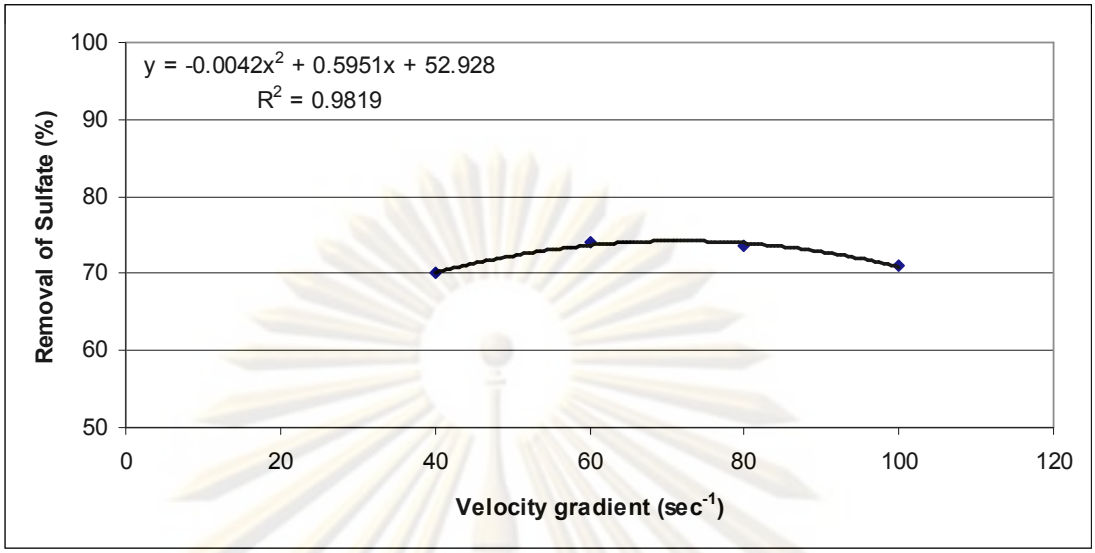
ภาพที่ 4.58 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตต่ออัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ความลาดชันความเร็วแตกต่างกัน

จากผลการทดลองประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตที่ความลาดชันความเร็วต่างๆ ปัจจัยหนึ่งที่มีผลให้การกำจัดซัลเฟตสำหรับการทดลองในครั้งนี้คือการกวน เนื่องจากการกวนน้ำเสียให้สัมผัสกับเชื้อจุลินทรีย์ทำให้การย่อยสลายเกิดได้ทั่วถึงขึ้น แต่การกวนในระดับที่สูงเกินไปส่งผลลบต่อแบคทีเรียกลุ่มสร้างแก๊สมีเทน โดยแบคทีเรียกลุ่มดังกล่าวมีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียให้กลายเป็นแก๊สมีเทนปลดปล่อยออกจากระบบ

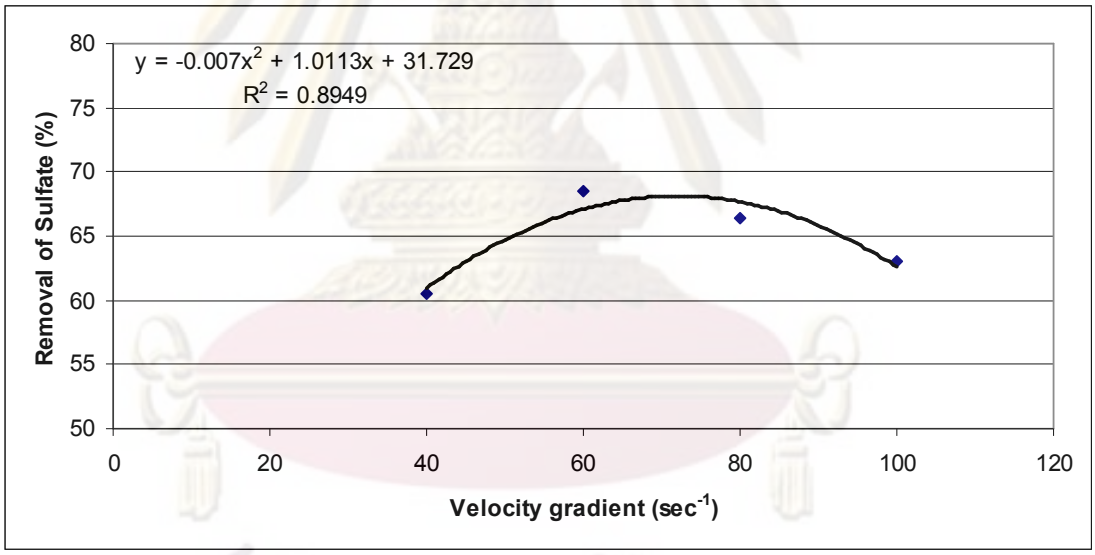
ดังนั้นเมื่อแบคทีเรียดังกล่าวลดจำนวนลงการกำจัดซัลเฟตก็ย่อมเกิดต่ำลงเช่นกัน และเมื่อนำประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตที่ได้มาเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์กับความลาดชันความเร็ว พบว่ามีความสัมพันธ์เป็นกราฟพาราโบลาคว่ำ สามารถแสดงดังภาพที่ 4.59-4.62 โดยที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ได้สมการความสัมพันธ์ คือ $y = -0.0151x^2 + 2.1249x + 17.323$ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ได้สมการความสัมพันธ์คือ $y = -0.0042x^2 + 0.5951x + 52.928$ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ได้สมการความสัมพันธ์คือ $y = -0.007x^2 + 1.0113x + 31.729$ และที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ได้สมการความสัมพันธ์คือ $y = -0.0108x^2 + 1.5425x + 11.655$ จากสมการเมื่อคำนวณหาจุดสูงสุดของกราฟเพื่อหาความลาดชันความเร็วที่เหมาะสมและประสิทธิภาพที่สามารถกำจัดซัลเฟตที่เกิดขึ้นได้สูงสุด ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน พบว่าความลาดชันความเร็วที่เหมาะสมที่สุดคือ 70 ต่อวินาที สามารถกำจัดซัลเฟตสูงสุด 92.08 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน พบว่าความลาดชันความเร็วที่เหมาะสมที่สุดคือ 71 ต่อวินาที สามารถกำจัดซัลเฟตสูงสุด 74.00 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน พบว่าความลาดชันความเร็วที่เหมาะสมที่สุดคือ 72 ต่อวินาที สามารถกำจัดซัลเฟตสูงสุด 68.25 เปอร์เซ็นต์ และที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน พบว่าความลาดชันความเร็วที่เหมาะสมที่สุดคือ 71 ต่อวินาที สามารถกำจัดซัลเฟตสูงสุด 66.73 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 4.59 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตกับความลาดชันความเร็ว (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน

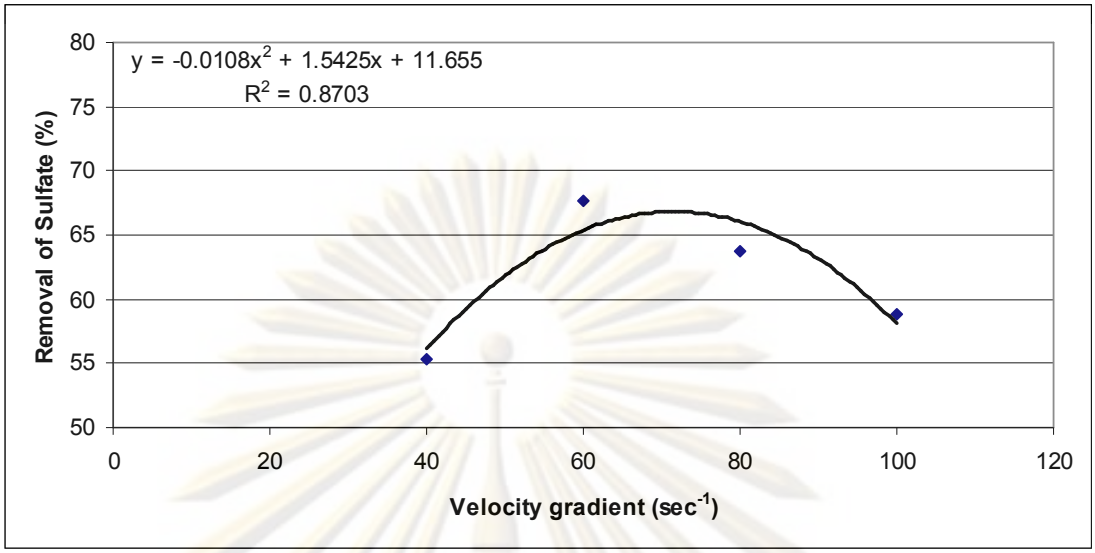


ภาพที่ 4.60 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตกับความลาดชันความเร็ว (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน



ภาพที่ 4.61 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตกับความลาดชันความเร็ว (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.62 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตกับความลาดชันความเร็ว (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน

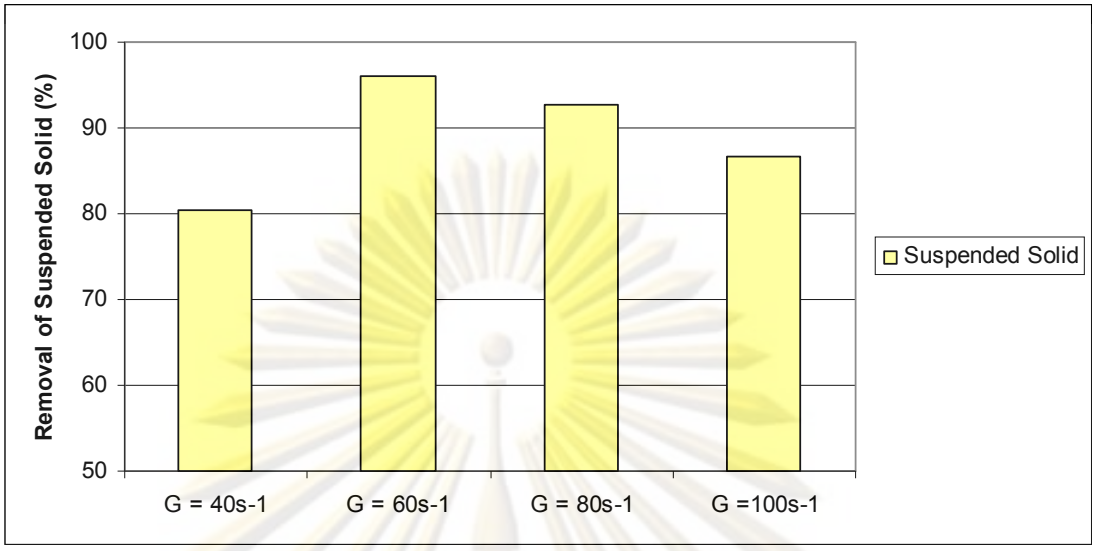
4.2.3 ของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัด

จากผลการทดลองพบว่าที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5, 1, 2 และ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ความลาดชันความเร็วแตกต่างกันจะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์(ดูที่ภาคผนวก ข) ความลาดชันความเร็วเท่ากับ 40, 60, 80 และ 100 ต่อวินาที ซึ่งแต่ละจำนวนรอบเวลาเดินระบบเท่ากับ 1, 3, 5 และ 7 วัน ตามลำดับ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน พบว่าที่ความลาดชันความเร็ว 40 ต่อวินาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 68.74, 74.01, 77.16 และ 80.36 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 86.2, 93.91, 94.39 และ 96 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 80 ต่อวินาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 81.23, 87.53, 89.76 และ 92.72 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และที่ความลาดชันความเร็ว 100 ต่อวินาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 78.14, 80.65, 83.81 และ 86.72 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยแสดงได้ดังภาพที่ 4.63 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน พบว่าที่ความลาดชันความเร็ว 40 ต่อวินาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 75.98, 77.44, 80.09 และ 82.47 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 87.35, 92.13, 94.28 และ 96.62 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 80 ต่อวินาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็ง

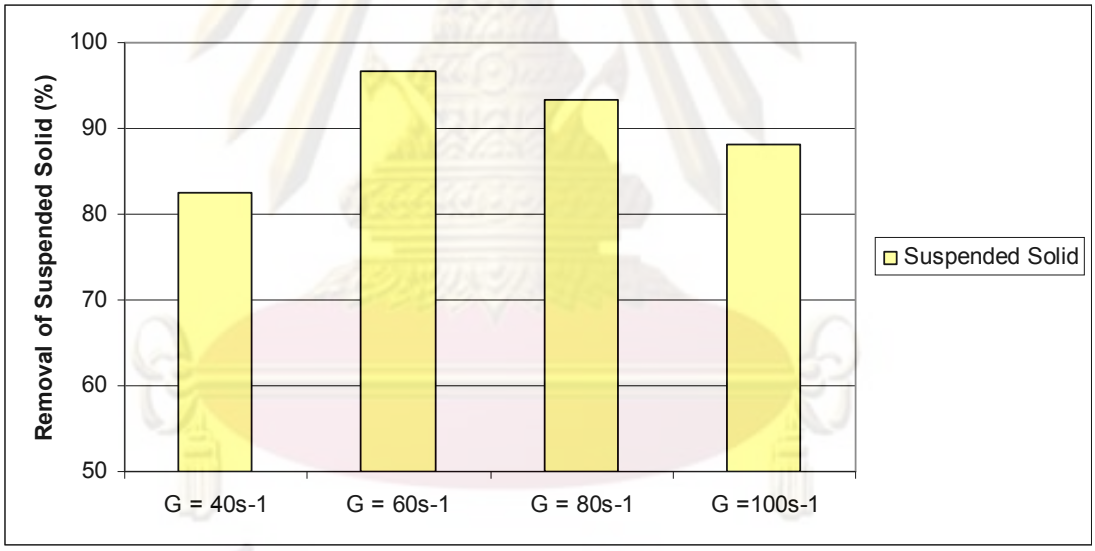
แขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 83.73, 88.56, 90.77 และ 93.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และที่ความลาดชันความเร็ว 100 ต่อวินาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 79.82, 81.98, 85.18 และ 88.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยแสดงได้ดังภาพที่ 4.64 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน พบว่าที่ความลาดชันความเร็ว 40 ต่อวินาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 73.95, 76.34, 81.59 และ 86.14 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 86.68, 90.6, 92.28 และ 94.21 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 80 ต่อวินาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 81.59, 86.5, 89.41 และ 92.73 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และที่ความลาดชันความเร็ว 100 ต่อวินาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 77.01, 82.45, 85.43 และ 88.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยแสดงได้ดังภาพที่ 4.65 และที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน พบว่าที่ความลาดชันความเร็ว 40 ต่อวินาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 73.63, 76.95, 80.01 และ 84.19 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 84.46, 86.38, 89.7 และ 95.01 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความลาดชันความเร็ว 80 ต่อวินาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 79.48, 84.46, 87.24 และ 90.03 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และที่ความลาดชันความเร็ว 100 ต่อวินาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 78.09, 81.4, 84.46 และ 88.64 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยแสดงได้ดังภาพที่ 4.66

จากผลการทดลองดังกล่าวข้างต้น พบว่าระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยได้มาก แม้ว่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์จะเพิ่มขึ้น โดยที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยได้มากที่สุด สังเกตได้จากภายในระบบจุลินทรีย์ที่ตกตะกอนอยู่ด้านล่างถังได้สัมผัสกับน้ำเสียที่เข้ามาในระบบ ส่งผลให้การรวมตัวของตะกอนจุลินทรีย์ได้ดี จึงทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการลดลงของซีโอดีที่สามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยได้มากที่สุดที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

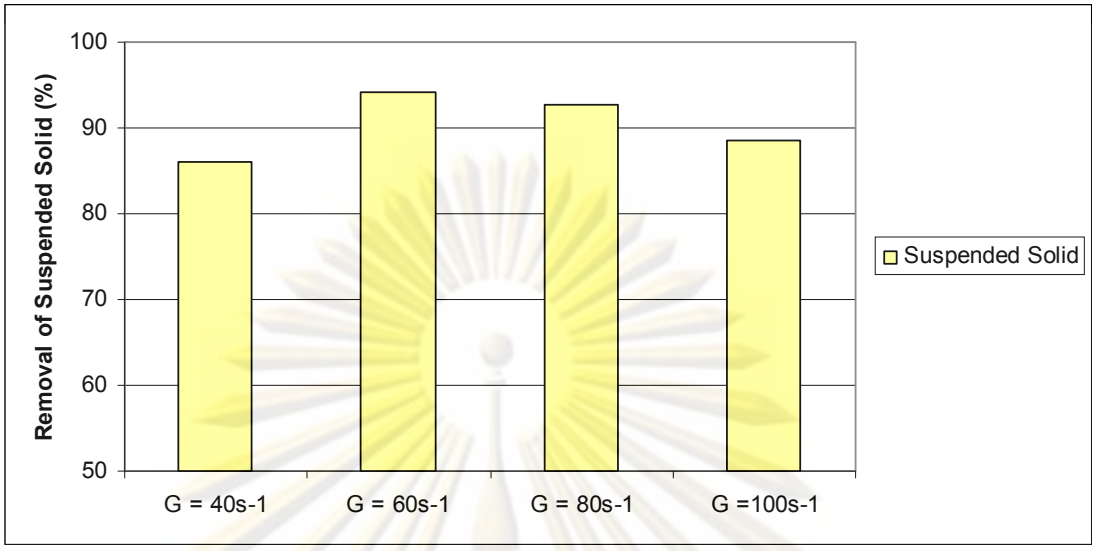


ภาพที่ 4.63 ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยที่ความลาดชันความเร็วที่แตกต่างกัน (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

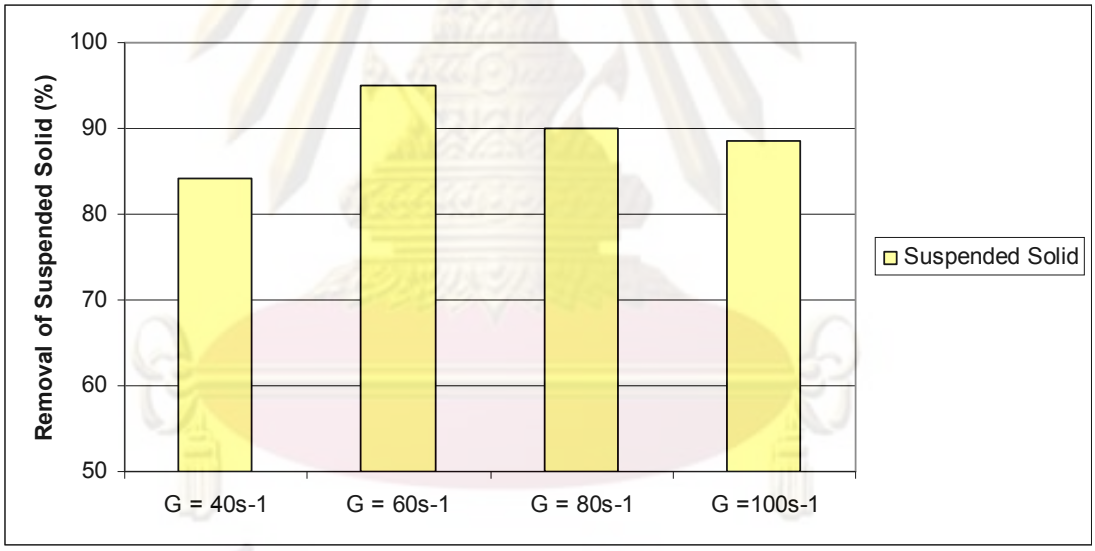


ภาพที่ 4.64 ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยที่ความลาดชันความเร็วที่แตกต่างกัน (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

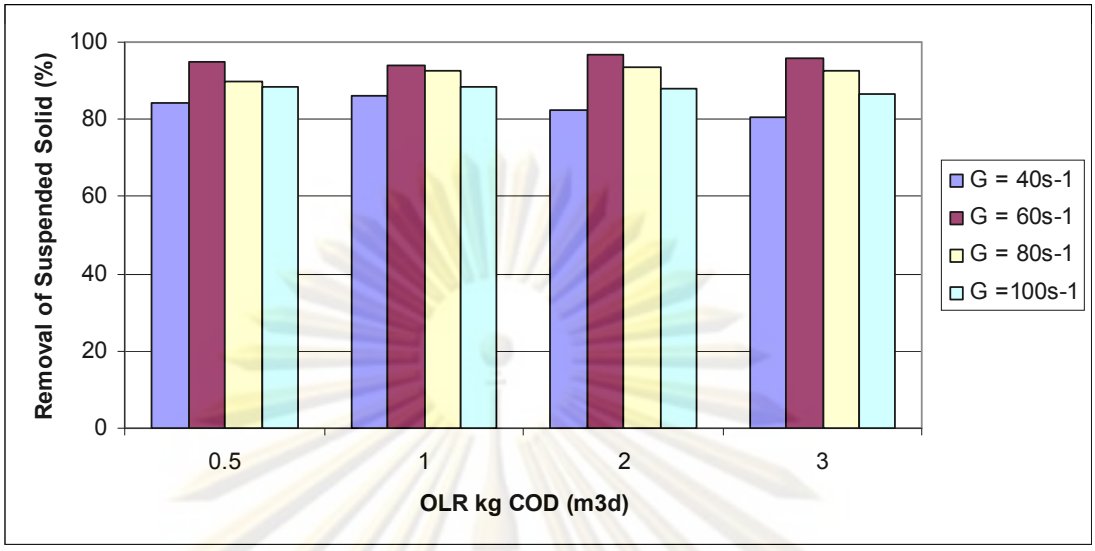


ภาพที่ 4.65 ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยที่ความลาดชันความเร็วที่แตกต่างกัน (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)



ภาพที่ 4.66 ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยที่ความลาดชันความเร็วที่แตกต่างกัน (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

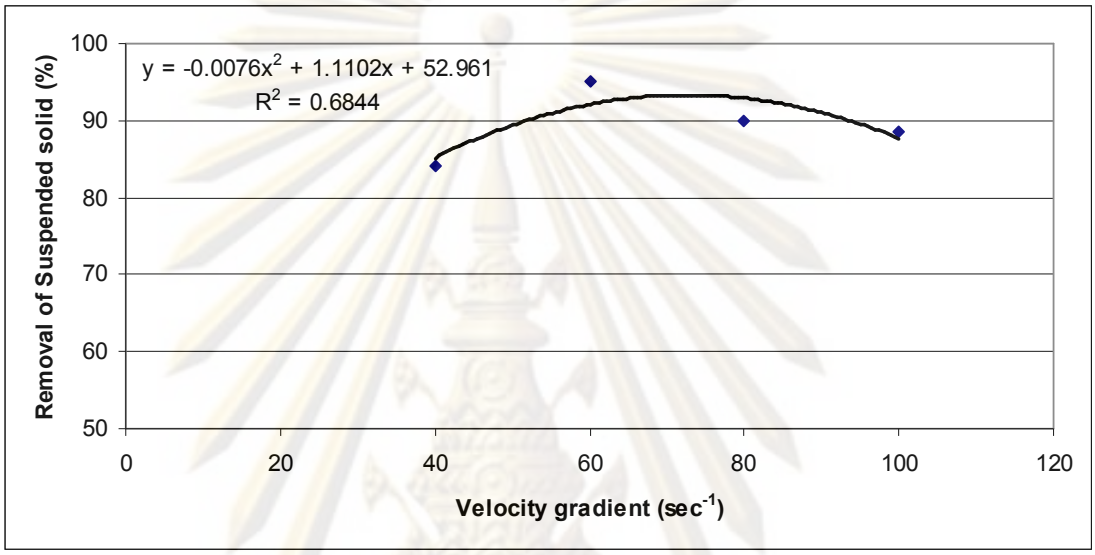
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



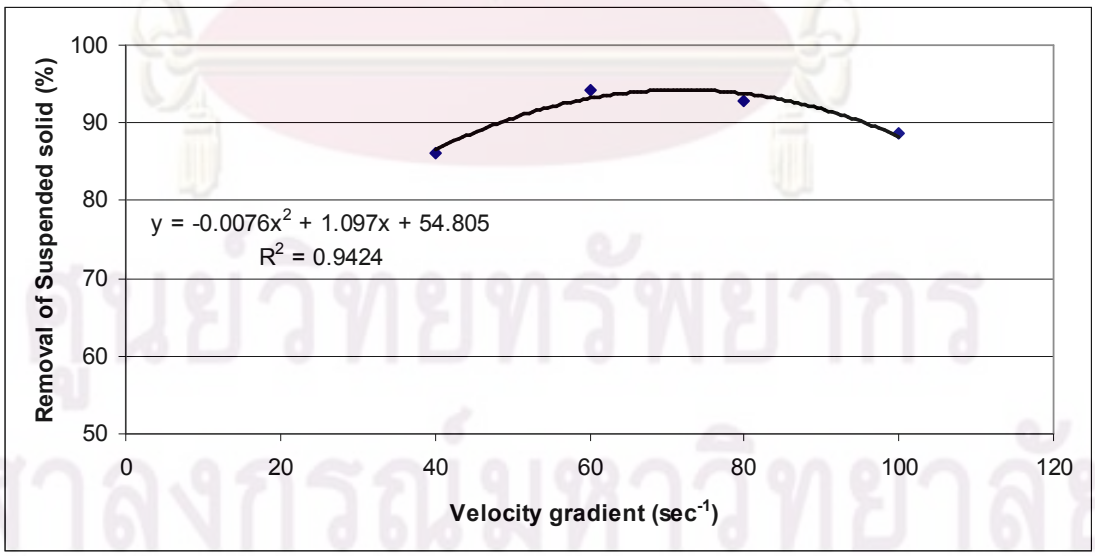
ภาพที่ 4.67 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยต่ออัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ความลาดชันความเร็วแตกต่างกัน

จากผลการทดลองประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยที่ความลาดชันความเร็วต่างๆปัจจัยหนึ่งที่มีผลให้การกำจัดของแข็งแขวนลอยสำหรับการทดลองในครั้งนี้คือการกวน เนื่องจากการกวนน้ำเสียให้สัมผัสกับเชื้อจุลินทรีย์ทำให้การย่อยสลายเกิดได้ทั่วถึงขึ้น แต่การกวนในระดับที่สูงเกินไปส่งผลลบต่อแบคทีเรียกลุ่มสร้างแก๊สมีเทน โดยแบคทีเรียกลุ่มดังกล่าวมีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียให้กลายเป็นแก๊สมีเทนปลดปล่อยออกจากระบบ ดังนั้นเมื่อแบคทีเรียดังกล่าวลดจำนวนลงการกำจัดของแข็งแขวนลอยก็ย่อมเกิดต่ำลงเช่นกัน และเมื่อนำประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยที่ได้มาเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์กับความลาดชันความเร็ว พบว่ามีความสัมพันธ์เป็นกราฟพาราโบลาคว่ำ สามารถแสดงดังภาพที่ 4.68-4.71 โดยที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ได้สมการความสัมพันธ์ คือ $y = -0.0076x^2 + 1.1102x + 52.961$ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ได้สมการความสัมพันธ์คือ $y = -0.0076x^2 + 1.097x + 54.805$ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ได้สมการความสัมพันธ์คือ $y = -0.0123x^2 + 1.7857x + 31.516$ และที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ได้สมการความสัมพันธ์คือ $y = -0.0135x^2 + 1.9725x + 23.91$ จากสมการเมื่อคำนวณหาจุดสูงสุดของกราฟเพื่อหาความลาดชันความเร็วที่เหมาะสมและประสิทธิภาพที่สามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยที่เกิดขึ้นได้สูงสุด ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน พบว่าความลาดชันความเร็วที่เหมาะสมที่สุดคือ 73 ต่อวินาที สามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยสูงสุด 93.51 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1 กิโลกรัมซีโอดี/

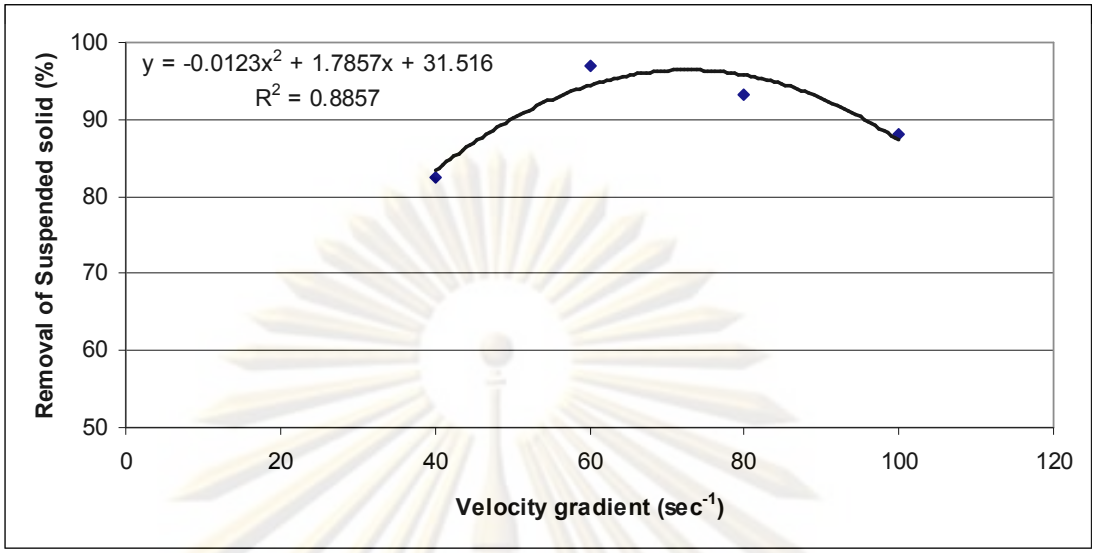
ลูกบาศก์เมตร/วัน พบว่าความลาดชันความเร็วที่เหมาะสมที่สุดคือ 72 ต่อวินาที สามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยสูงสุด 94.39 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน พบว่าความลาดชันความเร็วที่เหมาะสมที่สุดคือ 72 ต่อวินาที สามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยสูงสุด 96.33 เปอร์เซ็นต์ และที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน พบว่าความลาดชันความเร็วที่เหมาะสมที่สุดคือ 73 ต่อวินาที สามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยสูงสุด 95.96 เปอร์เซ็นต์



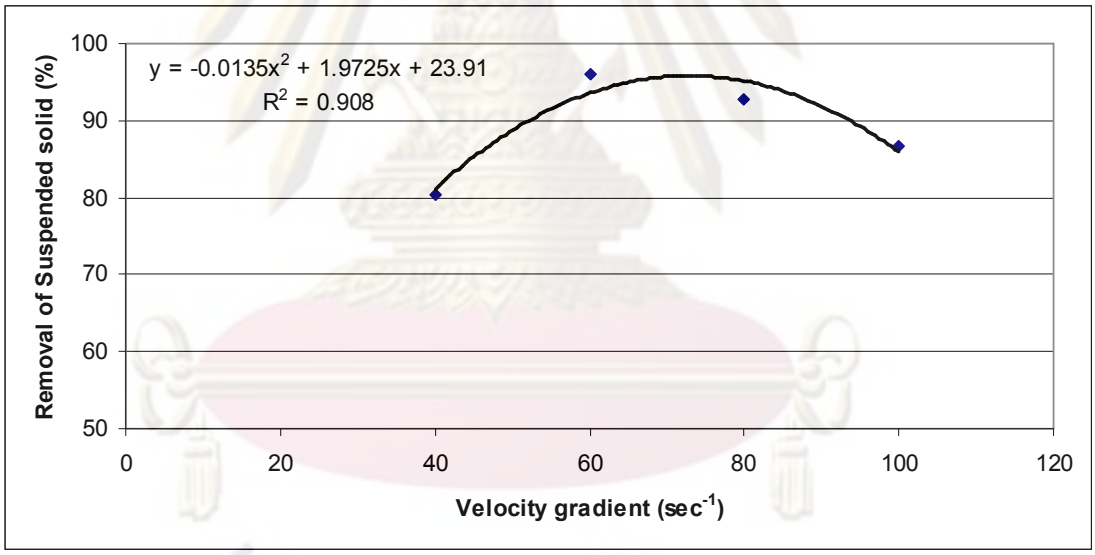
ภาพที่ 4.68 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยกับความลาดชันความเร็ว (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน



ภาพที่ 4.69 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยกับความลาดชันความเร็ว (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน



ภาพที่ 4.70 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยกับความลาดชันความเร็ว (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน



ภาพที่ 4.71 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยกับความลาดชันความเร็ว (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3 สมดุลมวลสารของระบบ

4.3.1 สมดุลมวลของซีโอดี

การพิจารณาสมดุลมวลของซีโอดีในงานวิจัยนี้ ทำให้ทราบถึงความน่าเชื่อถือของข้อมูล โดยดูจากค่า %recovery ของข้อมูลที่ได้ นอกจากนี้ยังนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณสัดส่วนการใช้ซีโอดีของแบคทีเรียสร้างแบคทีเรีย และแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต โดยดูจากค่าเปอร์เซ็นต์การไหลของอิเล็กตรอน ซึ่งเป็นค่าในการพิจารณาเปรียบเทียบบทบาทของแบคทีเรียทั้ง 2 ชนิด ในความสามารถในการแย่งใช้สารอาหารภายในระบบ

งานวิจัยนี้ซีโอดีของน้ำเข้าเป็นซีโอดีของสารอินทรีย์ ซึ่งเกิดจากน้ำเสียยางข้นที่อยู่ในระบบ เพื่อเป็นแหล่งคาร์บอนอินทรีย์ให้กับแบคทีเรีย เมื่อน้ำเสียผ่านระบบค่าซีโอดีของน้ำเข้าดังกล่าว จะเปลี่ยนรูปไปจากกิจกรรมการดำรงชีพของแบคทีเรียในระบบ สำหรับทฤษฎีเกี่ยวกับสมดุลมวลซีโอดีของระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนเมื่อมีซัลเฟตในน้ำเสียด้วยนั้น แสดงในหัวข้อ 2.5 และตัวอย่างการคำนวณสมดุลของสารในระบบแสดงในภาคผนวก ค โดยการคำนวณข้อมูลของการทดลองที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5, 1, 2 และ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน แสดงดังตารางที่ 4.31

จาก % COD recovery จะเห็นได้ว่าจุดอ่อนอย่างหนึ่งคือ ไม่สามารถหาปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกเปลี่ยนเป็นเซลล์แบคทีเรียได้ ดังนั้นค่า % COD recovery ที่ได้ในทุกการทดลองจึงน้อยกว่าความเป็นจริงเสมอ โดยจากงานวิจัยของอนุตร เปียงแก้ว (2542) กล่าวถึงชีวเคมีของแบคทีเรียชนิดไม่ใช้ออกซิเจนว่า แบคทีเรียประเภทนี้จะได้พลังงานจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ค่อนข้างต่ำ ซึ่งถ้าหากเปรียบเทียบเทียบกับแบคทีเรียประเภทที่ใช้ออกซิเจนแล้วจะเห็นได้อย่างชัดเจน กล่าวคือ แบคทีเรียประเภทที่ใช้ออกซิเจนได้พลังงานจากการย่อยสลายกลูโคส 1 โมเลกุล เทียบเท่ากับ 38 ATP แต่ถ้าเป็นแบคทีเรียประเภทไม่ใช้ออกซิเจนแล้ว จะได้พลังงานรวมเพียง 7 ATP เท่านั้น พลังงานส่วนนี้ยังถูกใช้โดยแบคทีเรียหลายชนิด ดังนั้นค่ายีสต์ของแบคทีเรียประเภทนี้จึงมีค่าประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ของสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายเท่านั้นที่ถูกเปลี่ยนเป็นเซลล์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.31 ค่า % COD recovery

อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)	ความลาดชันความเร็ว (ต่อวินาที)	ซีโอดี (mg/L)		ซัลเฟต (mg/L)		ก๊าซทั้งหมดต่อวัน (mL)	% CH_4	% recovery
		เข้า	ออก	เข้า	ออก			
0.5	40	668	100	43	10	34	14.92	20.30
	60	668	45	43	3	52	28.98	15.00
	80	668	62	43	5	45	23.78	16.40
	100	668	79	43	9	40	19.15	17.94
1	40	1,452	274	103	32	84	23.08	23.79
	60	1,452	154	103	26	109	35.17	16.95
	80	1,452	214	103	28	94	31.36	20.59
	100	1,452	212	103	31	91	28.42	19.98
2	40	2,690	552	255	101	173	34.44	26.13
	60	2,690	344	255	80	221	47.52	19.88
	80	2,690	466	255	86	193	42.32	23.82
	100	2,690	510	255	94	186	39.78	25.05
3	40	3,976	912	258	115	261	39.93	27.02
	60	3,976	581	258	84	332	52.71	20.09
	80	3,976	756	258	93	290	47.16	23.90
	100	3,976	827	258	106	280	42.38	25.21

เมื่อพิจารณาสาเหตุที่ทำให้ % COD recovery มีค่าน้อยกว่า 100 นั้น สาเหตุมาจากไม่สามารถวัดปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกเปลี่ยนเป็นเซลล์ และถูกใช้ในกระบวนการเมตาบอลิซึมของแบคทีเรียทั้ง 2 ชนิดได้ นอกจากนี้อาจมีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนรูปของสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งก๊าซที่เก็บได้อาจเกิดการรั่วไหลในขณะเก็บตัวอย่าง ทำให้ไม่สามารถเก็บก๊าซที่เกิดขึ้นได้ทั้งหมด ส่งผลต่อปริมาตรของก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้ค่า % COD recovery ที่ได้มีค่าน้อยกว่า 100 เปอร์เซ็นต์

จากข้อมูลค่าสัดส่วนซีโอดีในรูปมีเทน สัดส่วนซีโอดีที่ถูกใช้ในกระบวนการซัลเฟตรีดักชั่น จะนำมาใช้คำนวณเปอร์เซ็นต์การไหลของอิเล็กตรอน (% electron flow) หรือสัดส่วนการใช้ซีโอดีระหว่างแบคทีเรียสร้างมีเทน แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต เพื่อนำมาพิจารณาเปรียบเทียบบทบาทระหว่างแบคทีเรียทั้ง 2 ชนิดในระบบ โดยเปอร์เซ็นต์สัดส่วนการใช้ซีโอดีของแบคทีเรียทั้ง 2 ชนิดในแต่ละถังปฏิกรณ์ แสดงดังตารางที่ 4.32

จากตารางที่ 4.32 จะเห็นได้ว่าที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน จะเห็นได้ว่าในถังปฏิกรณ์ที่มีความลาดชันความเร็ว 40, 80 และ 100 ต่อวินาที ค่าเปอร์เซ็นต์การไหลของอิเล็กตรอนหรือเปอร์เซ็นต์สัดส่วนการใช้ซีโอดีของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตจะมีค่ามากกว่าแบคทีเรียสร้างมีเทน แสดงว่าแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตเป็นแบคทีเรียที่มีความโดดเด่นในระบบ และเมื่อพิจารณาถังปฏิกรณ์ที่มีความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที พบว่าเปอร์เซ็นต์การไหลของไหลของอิเล็กตรอนของแบคทีเรียสร้างมีเทน (51.06 %) มีค่ามากกว่าเปอร์เซ็นต์การไหลของอิเล็กตรอนของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต (48.94 %) แสดงว่าแบคทีเรียสร้างมีเทนเป็นแบคทีเรียที่มีความโดดเด่นในระบบ และสามารถใช้ซีโอดีได้มากที่สุด ส่วนที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1, 2 และ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน จะเห็นได้ว่าในทุกถังปฏิกรณ์ค่าเปอร์เซ็นต์การไหลของอิเล็กตรอนหรือเปอร์เซ็นต์สัดส่วนการใช้ซีโอดีของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต จะมีค่ามากกว่าแบคทีเรียสร้างมีเทน นั่นคือในทุกถังปฏิกรณ์แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต ยังคงเป็นแบคทีเรียที่โดดเด่นในระบบ และระบบสามารถกำจัดซัลเฟตได้มากที่สุด

ตารางที่ 4.32 เปอร์เซ็นต์การไหลของอิเล็กตรอน (% electron flow)

อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)	ความลาดชันความเร็ว (ต่อวินาที)	เปอร์เซ็นต์การไหลของอิเล็กตรอน (% electron flow)	
		แบคทีเรียสร้างมีเทน (MPB)	แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต (SRB)
0.5	40	38.17	61.83
	60	51.06	48.94
	80	47.41	52.59
	100	43.67	56.33
1	40	34.16	65.84
	60	44.61	55.39
	80	41.18	58.82
	100	38.60	61.40
2	40	31.69	68.31
	60	38.67	61.33
	80	35.29	64.71
	100	34.74	65.26
3	40	41.52	58.48
	60	46.76	53.24
	80	43.41	56.59
	100	42.40	57.60

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.2 สมดุลมวลของซัลเฟอร์

การพิจารณาสมดุลมวลของซัลเฟอร์ในงานวิจัยนี้ เป็นพารามิเตอร์อีกตัวหนึ่งที่แสดงให้เห็นถึงความน่าเชื่อถือของข้อมูล และใช้ตรวจสอบย้อนกลับถึงความถูกต้องของการวิเคราะห์ตัวอย่างในส่วนที่เกี่ยวข้องกับซัลเฟอร์ โดยจะเป็นการมองในแง่ของซัลเฟอร์ที่เข้าและออกจากระบบเพียงอย่างเดียว โดยไม่คำนึงถึงซีโอดีที่เข้าระบบ (ซึ่งกำหนดให้ซัลเฟตเป็นรูปของสารประกอบซัลเฟอร์ชนิดเดียวที่ถูกป้อนเข้าระบบ) โดยผลการคำนวณ % sulfur recovery ของการทดลองที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน แสดงดังตารางที่ 4.33

ตารางที่ 4.33 ค่า % sulfur recovery

อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)	ความลาดชันความเร็ว (ต่อวินาที)	ซัลเฟต (mg/L)		ซัลไฟด์ (mg/L)		H_2S (mg/L ในรูปซัลเฟต)	% sulfur recovery
		เข้า	ออก	เข้า	ออก		
0.5	40	43	10	0.93	6.96	1.52	75.36
	60	43	3	0.93	11.64	1.52	91.73
	80	43	5	0.93	9.83	1.52	83.75
	100	43	9	0.93	8.61	1.52	84.54
1	40	103	32	1.53	14.47	3.65	76.76
	60	103	26	1.53	24.63	3.65	100.52
	80	103	28	1.53	20.77	3.65	91.22
	100	103	31	1.53	18.47	3.65	87.43
2	40	255	101	3.44	35.37	9.03	84.76
	60	255	80	3.44	54.42	9.03	98.94
	80	255	86	3.44	46.44	9.03	91.90
	100	255	94	3.44	42.37	9.03	90.25
3	40	258	115	40.76	69.22	9.14	128.60
	60	258	84	40.76	92.15	9.14	143.25
	80	258	93	40.76	80.05	9.14	132.67
	100	258	106	40.76	78.51	9.14	135.92

จากตารางที่ 4.33 จะเห็นได้ว่า % sulfur recovery มีค่าใกล้เคียง 100 % มาก แสดงให้เห็นถึงความผิดพลาดในการวิเคราะห์หาปริมาณซัลเฟตและซัลไฟด์ที่มีไม่มาก ข้อมูลที่ได้มีระดับความน่าเชื่อถือสูง ส่วนค่า % sulfur recovery ที่มีค่าน้อยกว่า 100 สาเหตุเนื่องมาจากความดันพาร์เชียล

ของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และซัลไฟด์ละลายน้ำจะลดลงเมื่อตัวอย่างน้ำสัมผัสกับอากาศ ซึ่งทำให้ค่าซัลไฟด์น้ำออกทั้งหมดที่วัดได้น้อยกว่าค่าที่เกิดขึ้นจริง อย่างไรก็ตามวิธีการชักตัวอย่างน้ำโดยการหลีกเลี่ยงการเกิดความปั่นป่วนของตัวอย่างน้ำ จะเป็นการลดโอกาสการหนีออกจากตัวอย่างน้ำของซัลไฟด์ได้ นอกจากนี้การที่ค่าซัลไฟด์น้ำออกทั้งหมดมีค่าน้อยกว่าที่เกิดขึ้นจริงยังมีสาเหตุมาจากซัลเฟอร์ส่วนหนึ่งอยู่ในรูปตะกอนผลึกโลหะซัลไฟด์ และอีกส่วนหนึ่งถูกใช้และสะสมอยู่ในเซลล์แบคทีเรีย เนื่องจากซัลเฟอร์เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อแบคทีเรียในระบบ ซึ่งปริมาณซัลเฟอร์ทั้ง 2 ส่วนนี้ไม่สามารถวัดได้ ทำให้ขาดข้อมูลส่วนนี้ไป % sulfur recovery จึงมีค่าน้อยกว่า 100 เปอร์เซ็นต์เสมอ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้ศึกษาผลของความลาดชันความเร็วและอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่อการบำบัดน้ำเสียยางข้นโดยใช้ระบบเอเอสบีอาร์ สามารถสรุปได้ดังนี้ รวมทั้งข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยในครั้งต่อไป

5.1 สรุปผลการวิจัย

1. จากการศึกษาจำนวนรอบเวลาเดินระบบ เป็นจำนวน 1-4 รอบ ซึ่งในแต่ละรอบเวลาเดินระบบเท่ากับ 1, 3, 5 และ 7 วัน ตามลำดับ ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที และอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน พบว่าที่สภาวะคงที่ (Steady state) ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ 7 วัน มากกว่า 1, 3 และ 5 วัน ตามลำดับ ดังนั้นการบำบัดน้ำเสียยางข้นโดยใช้ระบบเอเอสบีอาร์ที่ 7 วัน ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที ระบบมีประสิทธิภาพมากที่สุด

2. จากการศึกษาผลของความลาดชันความเร็วและอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่อการบำบัดน้ำเสียยางข้นโดยใช้ระบบเอเอสบีอาร์

2.1 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี

- ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน พบว่าที่ความลาดชันความเร็ว 40 และ 100 ต่อวินาที ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดมากกว่าร้อยละ 70 และที่ความลาดชันความเร็ว 60 และ 80 ต่อวินาที ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดมากกว่าร้อยละ 80

- ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน พบว่าที่ความลาดชันความเร็ว 40 ต่อวินาที ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดมากกว่าร้อยละ 70 และที่ความลาดชันความเร็ว 60, 80 และ 100 ต่อวินาที ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดมากกว่าร้อยละ 80

- ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน พบว่าทุกความลาดชันความเร็วมีประสิทธิภาพในการกำจัดได้มากกว่าร้อยละ 80

- ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน พบว่าทุกความลาดชันความเร็วมีประสิทธิภาพในการกำจัดได้มากกว่าร้อยละ 80 ที่ความลาดชันความเร็ว

40 และ 100 ต่อวินาที และประสิทธิภาพในการกำจัดได้มากกว่าร้อยละ 90 ที่ความลาดชันความเร็ว 60 และ 100 ต่อวินาที

2.2 ประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟต

- ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน พบว่าที่ความลาดชันความเร็ว 40 และ 100 ต่อวินาที ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดมากกว่าร้อยละ 50 และที่ความลาดชันความเร็ว 60 และ 80 ต่อวินาที ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดมากกว่าร้อยละ 60

- ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน พบว่าทุกความลาดชันความเร็วมีประสิทธิภาพในการกำจัดได้มากกว่าร้อยละ 60

- ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน พบว่าทุกความลาดชันความเร็วมีประสิทธิภาพในการกำจัดได้มากกว่าร้อยละ 70

- ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน พบว่าที่ความลาดชันความเร็ว 40, 80 และ 100 ต่อวินาที ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดมากกว่าร้อยละ 70 และที่ความลาดชันความเร็ว 60 ต่อวินาที ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดมากกว่าร้อยละ 90

2.3 ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย

- ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3, 2, 1 และ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน พบว่าทุกความลาดชันความเร็วมีประสิทธิภาพในการกำจัดมากกว่าร้อยละ 80 ที่ความลาดชันความเร็ว 40 และ 100 ต่อวินาที และที่ความลาดชันความเร็ว 60 และ 80 ต่อวินาที ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดมากกว่าร้อยละ 90

2.4 ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น จะเห็นได้ว่ามีค่าต่ำ และเมื่อพิจารณาค่าซีโอดีที่ถูกใช้ในการเกิดปฏิกิริยาซัลเฟตรีดักชั่นมีค่าสูง แสดงว่าแบคทีเรียกลุ่ม SRB นั้นเข้าไปแย่งอาหารกับแบคทีเรียกลุ่ม MPB จึงมีการผลิตก๊าซมีเทนออกมาน้อย

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษารอบเวลาเดินระบบ (cycle time) ที่สูงขึ้น เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบเอเอสบีอาร์ที่เหมาะสม

2. ควรศึกษาผลของอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่สูงขึ้น เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของระบบ

3. นำรูปแบบการเดินระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสบีอาร์แบบเดียวกันที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ไปทดลองใช้กับน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมประเภทอื่น ๆ

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กรมควบคุมมลพิษ. 2548. แนวทางปฏิบัติที่ดีด้านการป้องกันและลดมลพิษ อุตสาหกรรมยางข้น. นนทบุรี : สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย.

กระทรวงอุตสาหกรรม. 2545. ตำราระบบบำบัดมลพิษทางน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.

กาญนิกา คลองธรรมชาติ และสมชาย ดารารัตน์. 2546. การพัฒนาเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียแบบ ASBR ในประเทศไทย. Lab Today 2 : 29 – 33.

ขนิษฐา หทัยสมิทธ์. 2547. การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นโดยระบบยูเอเอสบีแบบสองขั้นตอน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

จันทิมา สกุลพานิชัย. 2548. การบำบัดน้ำเสียที่มีซัลเฟตและไนเตรทสูงโดยใช้ระบบยูเอเอสบี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา) คณะบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชาญศักดิ์ คชานุบาล. 2542. การศึกษาประสิทธิภาพของระบบเอเอสบีอาร์ในการบำบัดสารอินทรีย์ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากโรงงานปลาทูนึ่ง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาสุขาภิบาลสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล.

ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กระทรวง. กรมควบคุมมลพิษ. 2548. คู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ เล่มที่ 1. พิมพ์ครั้งที่ 1. (ม.ป.ท.).

ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กระทรวง. กรมควบคุมมลพิษ. 2548. คู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ เล่มที่ 2. พิมพ์ครั้งที่ 1. (ม.ป.ท.).

ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2545. การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 2. (ม.ป.ท.).

มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์. 2542. เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม. เล่มที่ 1. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์. 2542. เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม. เล่มที่ 2. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วราภรณ์ ขจรไชยกุล. 2537. ผลิตภัณฑ์จากน้ำยางธรรมชาติ. สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร :

สมาคมยางพาราไทย. 2551. ยางพารา [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http:www.thainr.com/th/index.php?detail=main. [15 กรกฎาคม 2551]

สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์. 2549. ระบบบำบัดน้ำเสีย : การเลือกใช้ การออกแบบ การควบคุม และการแก้ไขปัญหา. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ท้อป.

อรทัย ทิมพงษ์. 2548. ความสามารถสูงสุดของระบบเอเอสบีอาร์ในการรับภาระบรรทุกในการบำบัดสารอินทรีย์จากน้ำเสียชุมชน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

อลิสรา วงศ์กิตติวิมล. 2543. การบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นโดยถังปฏิกรณ์ไฮบริดแบบไม่ใช้ออกซิเจน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรม สิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ภาษาอังกฤษ

Anjan, K.K., and Kalia-Shiv, S.P. 2001. Effect of mixing digested slurry on the rate of biogas production from dairy manure in batch fermenter. Energy sources 23: 711-715.

Arthur, C. 1999. Digester mixing systems Can you properly mix with too little power?. Division of McNish Corporation. [Online]. Available from: http://www.walker-process.com/paper DIGMIX.pdf. [2008, June 15]

Bitton Gabriel. 1997. Wastewater Microbiology. New York : Wiley-Liss

Igor, B., Bronislava, H. and Miloslav, D. 2002. The Use of Upflow Anaerobic Filter and AnSBR for Wastewater Treatment at Ambient Temperature. Water Research 36 : 1084-1088.

Karim, K., Hoffmann, R., Klasson, T., and Al-Dahhan, M.H. 2005. Anaerobic digestion of animal waste: Waste strength versus impact of mixing. Bioresource Technology 96: 1771-1781.

MacLoed, F.A., Guiot, S.R., Costerton, J.W. 1990. Layered structure of bacterial aggregates produced in an upflow anaerobic sludge bed and filter reactor. Applied and Environmental Microbiology 56 : 1598-1607.

Masse, D.I. and Masse, L. 2000. Treatment of slaughterhouse wastewater in anaerobic sequencing batch reactors. Canadian Agricultural Engineering 42 : 131-137

Ndegwa, P.M., Halmilton, D.W., Lalman, J.A., and Cumba, H.J. 2008. Effect of cycle-frequency and temperature on the performance of anaerobic sequencing batch reactor (ASBRs) treating swine waste. Bioresource Technology 99: 1972-1980.

Ong, S.A., Toorisaka, E., Hirata, M. and Hano, T. 2004. Decolorzation of azo dye (Orange II) in a sequential UASB-SBR system. Separation and Purification Technology 42 : 297-302.

Wheatley, A.D. 1997. Applications of anaerobic digestion for the treatment of industrial wastewaters in Europe. Water and Environmental Management 11 : 39-46.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ผลการทดลอง

ตารางที่ ก.1 จำนวนรอบเวลาเดินระบบของการทดลอง

ความลาดชัน ความเร็ว (ต่อวินาที)	ซีโอดี	น้ำเข้า	จำนวน รอบเวลา เดินระบบ	ซีโอดี (น้ำออก) (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
				1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
		3,952	Cycle 1	844	714	689	589
		4,174	Cycle 2	947	826	696	606
		3,872	Cycle 3	844	808	708	613
		3,904	Cycle 4	869	739	614	514
	ค่าต่ำสุด	3,872	-	844	714	614	514
	ค่าสูงสุด	4,174	-	947	826	708	613
	ค่าเฉลี่ย	3,976	-	876	772	677	581
	ประสิทธิภาพ การกำจัด เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	-	77.91	80.59	82.97	85.22

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.2 ค่าพีเอช (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน

ความลาดชัน ความเร็ว (ต่อวินาที)	พีเอช	น้ำเข้า	จำนวนรอบเวลาเดินระบบ	พีเอช (น้ำออก)			
				1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40		4.87	Cycle 1	6.55	7.09	7.36	7.75
		4.87	Cycle 2	6.51	7.09	7.63	7.78
		5.12	Cycle 3	7.01	8.2	8.26	7.92
		5.16	Cycle 4	6.75	7.14	7.36	7.72
	ค่าต่ำสุด	4.87	-	6.51	7.09	7.36	7.72
	ค่าสูงสุด	5.16	-	7.01	8.2	8.26	7.92
	ค่าเฉลี่ย	5.01	-	6.72	7.47	7.71	7.8
60		4.87	Cycle 1	6.72	7.34	7.67	8.03
		4.87	Cycle 2	6.87	7.02	7.08	7.27
		5.12	Cycle 3	6.53	8.43	8.05	8.15
		5.16	Cycle 4	6.55	7.18	7.47	7.83
	ค่าต่ำสุด	4.87	-	6.53	7.02	7.08	7.27
	ค่าสูงสุด	5.16	-	6.87	8.43	8.05	8.15
	ค่าเฉลี่ย	5.01	-	6.68	7.57	7.57	7.78
80		4.87	Cycle 1	6.53	7.23	7.54	7.89
		4.87	Cycle 2	6.58	7.21	7.56	7.78
		5.12	Cycle 3	6.79	8.01	8.22	8.53
		5.16	Cycle 4	6.5	7.25	7.74	8.3
	ค่าต่ำสุด	4.87	-	6.5	7.21	7.54	7.78
	ค่าสูงสุด	5.16	-	6.79	8.01	8.22	8.53
	ค่าเฉลี่ย	5.01	-	6.62	7.49	7.8	8.14
100		4.87	Cycle 1	6.48	7.18	7.5	7.91
		4.87	Cycle 2	6.54	7.26	7.67	7.82
		5.12	Cycle 3	6.93	8.19	8.35	8.38
		5.16	Cycle 4	6.67	7.12	7.54	7.93
	ค่าต่ำสุด	4.87	-	6.48	7.12	7.5	7.82
	ค่าสูงสุด	5.16	-	6.93	8.19	8.35	8.38
	ค่าเฉลี่ย	5.01	-	6.67	7.51	7.82	8.04

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.3 ค่าอุณหภูมิ (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน

ความลาดชัน ความเร็ว (ต่อวินาที)	อุณหภูมิ	น้ำเข้า	จำนวน รอบเวลา เดินระบบ	อุณหภูมิ (น้ำออก) (องศาเซลเซียส)			
				1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40		27.5	Cycle 1	27.2	27.1	26.6	26.7
		27	Cycle 2	27.1	27.2	27.5	27.8
		26.3	Cycle 3	26.7	26.1	25.7	25.3
		27.1	Cycle 4	26.3	27	26.7	27.3
	ค่าต่ำสุด	26.3	-	26.3	26.1	25.7	25.3
	ค่าสูงสุด	27.5	-	27.2	27.2	27.5	27.8
	ค่าเฉลี่ย	26.9	-	26.8	26.7	26.6	26.7
60		27.5	Cycle 1	27.8	27.1	26.8	26.9
		27	Cycle 2	27.3	27.5	27.7	27.4
		26.3	Cycle 3	26.8	26.5	26.1	25.9
		27.1	Cycle 4	26.9	27.2	26.8	27
	ค่าต่ำสุด	26.3	-	26.8	26.5	26.1	25.9
	ค่าสูงสุด	27.5	-	27.8	27.5	27.7	27.4
	ค่าเฉลี่ย	26.9	-	27.2	27	26.8	26.7
80		27.5	Cycle 1	27.5	27.2	26.9	26.2
		27	Cycle 2	26.8	27.9	28.1	27.2
		26.3	Cycle 3	26.2	25.8	26.3	26
		27.1	Cycle 4	27.2	27.5	27.7	26.5
	ค่าต่ำสุด	26.3	-	26.2	25.8	26.3	26
	ค่าสูงสุด	27.5	-	27.5	27.9	28.1	27.2
	ค่าเฉลี่ย	26.9	-	26.9	27	27.2	26.5
100		27.5	Cycle 1	28.1	26.8	27.3	26.5
		27	Cycle 2	26.5	27	27.9	28.2
		26.3	Cycle 3	27.1	26.9	25.8	26.5
		27.1	Cycle 4	26.7	26.8	25.9	26.4
	ค่าต่ำสุด	26.3	-	26.5	26.8	25.8	26.4
	ค่าสูงสุด	27.5	-	28.1	27	27.9	28.2
	ค่าเฉลี่ย	26.9	-	27.1	26.8	26.7	27

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.4 ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน

ความลาดชัน ความเร็ว (ต่อวินาที)	ของแข็งแขวนลอย	น้ำเข้า	จำนวนรอบเวลาเดินระบบ	ของแข็งแขวนลอย (น้ำออก) (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
				1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40		520	Cycle 1	159	131	115	102
		524	Cycle 2	166	137	121	101
		502	Cycle 3	152	129	111	99
		517	Cycle 4	168	139	124	103
	ค่าต่ำสุด	502	-	152	129	111	99
	ค่าสูงสุด	524	-	168	139	124	103
	ค่าเฉลี่ย	516	-	161	134	117	101
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	-	68.74	74.01	77.16	80.36
60		520	Cycle 1	75	35	33	25
		524	Cycle 2	78	39	37	28
		502	Cycle 3	59	19	17	9
		517	Cycle 4	73	33	29	21
	ค่าต่ำสุด	502	-	59	19	17	9
	ค่าสูงสุด	524	-	78	39	37	28
	ค่าเฉลี่ย	516	-	71	31	29	20
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	-	86.2	93.91	94.39	96

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.4 ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน (ต่อ)

ความลาดชัน ความเร็ว (ต่อวินาที)	ของแข็งแขวนลอย	น้ำเข้า	จำนวนรอบเวลาเดินระบบ	ของแข็งแขวนลอย (น้ำออก) (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
				1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
80		520	Cycle 1	95	65	55	40
		524	Cycle 2	98	61	51	35
		502	Cycle 3	93	66	52	39
		517	Cycle 4	101	65	53	36
	ค่าต่ำสุด	502	-	93	61	51	35
	ค่าสูงสุด	524	-	101	66	55	40
	ค่าเฉลี่ย	516	-	96	64	52	37
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	-	81.23	87.53	89.76	92.72
100		520	Cycle 1	110	96	80	66
		524	Cycle 2	116	102	86	71
		502	Cycle 3	104	94	77	63
		517	Cycle 4	121	107	91	74
	ค่าต่ำสุด	502	-	104	94	77	63
	ค่าสูงสุด	524	-	121	107	91	74
	ค่าเฉลี่ย	516	-	112	99	83	68
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	-	78.14	80.65	83.81	86.72

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.5 ค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน

ความลาดชัน ความเร็ว (ต่อวินาที)	ซีโอดี	น้ำเข้า	จำนวนรอบเวลาเดินระบบ	ซีโอดี (น้ำออก) (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
				1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40		3,952	Cycle 1	1,200	1,050	970	920
		4,174	Cycle 2	1,272	1,150	980	918
		3,872	Cycle 3	1,150	1,050	950	890
		3,904	Cycle 4	1,170	1,090	950	918
	ค่าต่ำสุด	3,872	-	1,150	1,050	950	890
	ค่าสูงสุด	4,174	-	1,272	1,150	980	920
	ค่าเฉลี่ย	3,976	-	1,198	1,085	963	912
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	-	69.87	72.7	75.77	77.05
60		3,952	Cycle 1	844	714	689	589
		4,174	Cycle 2	947	826	696	606
		3,872	Cycle 3	844	808	708	613
		3,904	Cycle 4	869	739	614	514
	ค่าต่ำสุด	3,872	-	844	714	614	514
	ค่าสูงสุด	4,174	-	947	826	708	613
	ค่าเฉลี่ย	3,976	-	876	772	677	581
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	-	77.91	80.59	82.97	85.22

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.5 ค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน (ต่อ)

ความลาดชัน ความเร็ว (ต่อวินาที)	ซีโอดี	น้ำเข้า	จำนวนรอบเวลาเดินระบบ	ซีโอดี (น้ำออก) (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
				1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
80		3,952	Cycle 1	1,060	920	810	715
		4,174	Cycle 2	1,115	940	890	795
		3,872	Cycle 3	1,020	890	810	760
		3,904	Cycle 4	1,025	935	845	755
	ค่าต่ำสุด	3,872	-	1,020	890	810	715
	ค่าสูงสุด	4,174	-	1,115	940	890	795
	ค่าเฉลี่ย	3,976	-	1,055	921	839	756
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	-	73.46	76.81	78.9	80.97
100		3,952	Cycle 1	1,182	1,005	890	825
		4,174	Cycle 2	1,230	1,050	930	860
		3,872	Cycle 3	1,135	970	910	820
		3,904	Cycle 4	1,100	967	890	802
	ค่าต่ำสุด	3,872	-	1,100	967	890	802
	ค่าสูงสุด	4,174	-	1,230	1,050	930	860
	ค่าเฉลี่ย	3,976	-	1,162	998	905	827
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	-	70.78	74.89	77.22	79.19

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.6 ค่าปริมาณซัลเฟตและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน

ความลาดชัน ความเร็ว (ต่อวินาที)	ซัลเฟต	น้ำเข้า	จำนวน รอบเวลา เดินระบบ	ซัลเฟต (น้ำออก) (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
				1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40		276	Cycle 1	178	159	139	122
		292	Cycle 2	191	169	146	130
		214	Cycle 3	138	124	105	96
		249	Cycle 4	161	145	124	112
	ค่าต่ำสุด	214	-	138	124	105	96
	ค่าสูงสุด	292	-	191	169	146	130
	ค่าเฉลี่ย	258	-	167	149	129	115
	ประสิทธิภาพ การกำจัด เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	-	35.23	42.08	50.19	55.35
60		276	Cycle 1	158	134	112	91
		292	Cycle 2	171	145	120	96
		214	Cycle 3	123	104	87	68
		249	Cycle 4	143	127	103	79
	ค่าต่ำสุด	214	-	123	104	87	68
	ค่าสูงสุด	292	-	171	145	120	96
	ค่าเฉลี่ย	258	-	149	128	106	84
	ประสิทธิภาพ การกำจัด เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	-	42.32	50.54	59.07	67.66

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.6 ค่าปริมาณซัลเฟตและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน (ต่อ)

ความลาดชัน ความเร็ว (ต่อวินาที)	ซัลเฟต	น้ำเข้า	จำนวน รอบเวลา เดินระบบ	ซัลเฟต (น้ำออก) (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
				1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
80		276	Cycle 1	163	144	117	97
		292	Cycle 2	175	155	121	106
		214	Cycle 3	127	113	92	78
		249	Cycle 4	148	132	105	92
	ค่าต่ำสุด	214	-	127	113	92	78
	ค่าสูงสุด	292	-	175	155	121	106
	ค่าเฉลี่ย	258	-	153	136	109	93
	ประสิทธิภาพ การกำจัด เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	-	40.55	47.23	57.75	63.79
100		276	Cycle 1	171	153	129	113
		292	Cycle 2	183	161	132	119
		214	Cycle 3	133	116	97	88
		249	Cycle 4	152	137	116	104
	ค่าต่ำสุด	214	-	133	116	97	88
	ค่าสูงสุด	292	-	183	161	132	119
	ค่าเฉลี่ย	258	-	160	142	119	106
	ประสิทธิภาพ การกำจัด เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	-	38.04	45.05	54.03	58.85

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.7 ค่าซัลไฟด์ (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน

ความลาดชัน ความเร็ว (ต่อวินาที)	ซัลไฟด์	น้ำเข้า	จำนวน รอบเวลา เดินระบบ	ซัลไฟด์ (น้ำออก) (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
				1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40		40.59	Cycle 1	45.99	48.22	55.93	71.43
		42.87	Cycle 2	46.12	48.22	55.39	62.56
		39.06	Cycle 3	39.8	48.40	58.50	68.27
		40.09	Cycle 4	41.01	53.55	61.34	75.26
	ค่าต่ำสุด	39.06	-	39.80	48.22	55.39	62.56
	ค่าสูงสุด	42.87	-	46.12	53.55	61.34	75.26
	ค่าเฉลี่ย	40.65	-	43.14	50.03	57.98	69.22
60		40.59	Cycle 1	62.59	67.22	74.62	88.25
		42.87	Cycle 2	60.12	64.22	72.62	84.23
		39.06	Cycle 3	55.06	64.06	73.06	85.19
		40.09	Cycle 4	46.21	57.4	64.36	77.15
	ค่าต่ำสุด	39.06	-	55.06	64.06	72.62	84.23
	ค่าสูงสุด	42.87	-	62.59	72.40	79.36	92.15
	ค่าเฉลี่ย	40.65	-	59.44	67.39	75.27	87.70
80		40.59	Cycle 1	55.19	59.86	65.82	80.25
		42.87	Cycle 2	52.87	57.42	63.52	76.23
		39.06	Cycle 3	46.56	55.94	64.72	77.33
		40.09	Cycle 4	50.95	63.86	71.47	85.12
	ค่าต่ำสุด	39.06	-	46.56	55.94	63.52	76.23
	ค่าสูงสุด	42.87	-	55.19	63.86	71.47	85.12
	ค่าเฉลี่ย	40.65	-	51.22	59.48	66.75	80.05
100		40.59	Cycle 1	53.16	57.04	67.12	82.25
		42.87	Cycle 2	49.01	54.52	60.62	74.08
		39.06	Cycle 3	45.66	56.06	65.18	75.25
		40.09	Cycle 4	48.21	61.29	68.80	82.70
	ค่าต่ำสุด	39.06	-	45.66	54.52	60.62	74.08
	ค่าสูงสุด	42.87	-	53.16	61.29	68.80	82.70
	ค่าเฉลี่ย	40.65	-	49.14	57.45	65.19	78.51

ตารางที่ ก.8 ก๊าซชีวภาพ (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน

ความลาดชัน ความเร็ว (ต่อวินาที)	ก๊าซชีวภาพ	จำนวน รอบเวลา เดินระบบ	ก๊าซชีวภาพ (มิลลิลิตรต่อวัน)			
			1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40		Cycle 1	125	165	208	263
		Cycle 2	132	169	207	257
		Cycle 3	128	171	212	268
		Cycle 4	124	162	202	254
	ค่าต่ำสุด	-	124	162	202	254
	ค่าสูงสุด	-	132	171	212	268
	ค่าเฉลี่ย	-	128	167	207	261
60		Cycle 1	178	225	269	331
		Cycle 2	183	225	275	332
		Cycle 3	185	232	274	328
		Cycle 4	180	234	282	336
	ค่าต่ำสุด	-	178	225	269	328
	ค่าสูงสุด	-	185	234	282	336
	ค่าเฉลี่ย	-	182	229	275	332
80		Cycle 1	155	189	235	294
		Cycle 2	147	183	221	282
		Cycle 3	162	194	240	298
		Cycle 4	150	182	226	286
	ค่าต่ำสุด	-	147	182	221	282
	ค่าสูงสุด	-	162	194	240	298
	ค่าเฉลี่ย	-	154	187	231	290
100		Cycle 1	142	176	228	282
		Cycle 2	142	178	215	275
		Cycle 3	150	184	238	288
		Cycle 4	146	176	235	272
	ค่าต่ำสุด	-	142	176	215	272
	ค่าสูงสุด	-	150	184	238	288
	ค่าเฉลี่ย	-	145	179	228	280

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.9 ค่าพีเอช(อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ2กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ความลาดชัน ความเร็ว (ต่อวินาที)	พีเอช	น้ำเข้า	จำนวน รอบเวลา เดินระบบ	พีเอช (น้ำออก)			
				1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40		5.18	Cycle 1	6.06	6.41	7.73	8.34
		4.94	Cycle 2	6.17	6.66	7.85	8.55
		4.78	Cycle 3	6.21	6.89	8.19	8.38
		5.13	Cycle 4	6.23	7.02	8.27	8.43
	ค่าต่ำสุด	4.78	-	6.06	6.41	7.73	8.34
	ค่าสูงสุด	5.18	-	6.23	7.02	8.27	8.55
	ค่าเฉลี่ย	5.00	-	6.16	6.74	8.01	8.43
60		5.18	Cycle 1	6.65	7.25	7.54	7.67
		4.94	Cycle 2	6.72	7.18	7.36	7.54
		4.78	Cycle 3	6.51	7.22	7.38	7.42
		5.13	Cycle 4	6.63	7.39	7.62	7.78
	ค่าต่ำสุด	4.78	-	6.51	7.18	7.36	7.42
	ค่าสูงสุด	5.18	-	6.72	7.39	7.62	7.78
	ค่าเฉลี่ย	5.00	-	6.62	7.27	7.48	7.60
80		5.18	Cycle 1	6.48	7.12	7.63	7.79
		4.94	Cycle 2	6.51	7.02	7.43	7.67
		4.78	Cycle 3	6.39	7.26	7.59	7.72
		5.13	Cycle 4	6.52	7.35	7.77	7.98
	ค่าต่ำสุด	4.78	-	6.39	7.02	7.43	7.67
	ค่าสูงสุด	5.18	-	6.52	7.35	7.77	7.98
	ค่าเฉลี่ย	5.00	-	6.47	7.19	7.60	7.80
100		5.18	Cycle 1	6.02	6.97	7.53	8.11
		4.94	Cycle 2	6.23	7.06	7.79	8.24
		4.78	Cycle 3	6.27	7.04	7.83	8.38
		5.13	Cycle 4	6.34	7.14	7.76	8.06
	ค่าต่ำสุด	4.78	-	6.02	6.97	7.53	8.06
	ค่าสูงสุด	5.18	-	6.34	7.14	7.83	8.38
	ค่าเฉลี่ย	5.00	-	6.20	7.05	7.71	8.21

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.10 ค่าอุณหภูมิ(อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ความลาดชัน ความเร็ว (ต่อวินาที)	อุณหภูมิ	น้ำเข้า	จำนวน รอบเวลา เดินระบบ	อุณหภูมิ (น้ำออก) (องศาเซลเซียส)			
				1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40		27.5	Cycle 1	27.4	27.3	27.2	27.4
		25.8	Cycle 2	25.3	25.8	26.1	25.7
		24.9	Cycle 3	25.2	25	25.1	25.2
		26	Cycle 4	26	26.1	26.2	26.3
	ค่าต่ำสุด	24.9	-	25.2	25	25.1	25.2
	ค่าสูงสุด	27.5	-	27.4	27.3	27.2	27.4
	ค่าเฉลี่ย	26.1	-	26.1	26.1	26.1	26.2
60		27.5	Cycle 1	27.3	27.5	27.3	27.4
		25.8	Cycle 2	25.4	25.9	26.1	25.8
		24.9	Cycle 3	25	25.2	24.8	25.1
		26	Cycle 4	26.2	26	26.1	26.2
	ค่าต่ำสุด	24.9	-	25	25.2	24.8	25.1
	ค่าสูงสุด	27.5	-	27.3	27.5	27.3	27.4
	ค่าเฉลี่ย	26.1	-	26	26.2	26.1	26.2
80		27.5	Cycle 1	27.4	27.3	27.2	27.5
		25.8	Cycle 2	25.4	26.1	26	25.6
		24.9	Cycle 3	25.2	25	25.1	25
		26	Cycle 4	26	26.3	26.3	26
	ค่าต่ำสุด	24.9	-	25.2	25	25.1	25
	ค่าสูงสุด	27.5	-	27.4	27.3	27.2	27.5
	ค่าเฉลี่ย	26.1	-	26.1	26.2	26.2	26.1
100		27.5	Cycle 1	27.3	27.4	27.3	27.4
		25.8	Cycle 2	25.2	26	25.9	25.7
		24.9	Cycle 3	25.5	25.1	25.1	24.9
		26	Cycle 4	26.4	26.3	26.1	26.2
	ค่าต่ำสุด	24.9	-	25.2	25.1	25.1	24.9
	ค่าสูงสุด	27.5	-	27.3	27.4	27.3	27.4
	ค่าเฉลี่ย	26.1	-	26.2	26.2	26.1	26.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.11 ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ความลาดชัน ความเร็ว (ต่อวินาที)	ของแข็งแขวนลอย	น้ำเข้า	จำนวนรอบเวลาเดินระบบ	ของแข็งแขวนลอย (น้ำออก) (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
				1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40		230	Cycle 1	56	52	45	37
		280	Cycle 2	65	60	55	49
		250	Cycle 3	59	57	51	46
		265	Cycle 4	66	62	53	48
	ค่าต่ำสุด	230	-	56	52	45	37
	ค่าสูงสุด	280	-	66	62	55	49
	ค่าเฉลี่ย	256	-	61	58	51	44
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	-	75.98	77.44	80.09	82.47
60		230	Cycle 1	26	15	11	6
		280	Cycle 2	34	21	16	10
		250	Cycle 3	33	20	14	7
		265	Cycle 4	37	25	18	12
	ค่าต่ำสุด	230	-	26	15	11	6
	ค่าสูงสุด	280	-	37	25	18	12
	ค่าเฉลี่ย	256	-	32	20	15	9
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	-	87.35	92.13	94.28	96.62

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.11 ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน) (ต่อ)

ความลาดชัน ความเร็ว (ต่อวินาที)	ของแข็งแขวนลอย	น้ำเข้า	จำนวนรอบเวลาเดินระบบ	ของแข็งแขวนลอย (น้ำออก) (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
				1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
80		230	Cycle 1	35	27	19	13
		280	Cycle 2	45	30	27	18
		250	Cycle 3	42	28	23	17
		265	Cycle 4	45	32	26	21
	ค่าต่ำสุด	230	-	35	27	19	13
	ค่าสูงสุด	280	-	45	32	27	21
	ค่าเฉลี่ย	256	-	41	29	24	17
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	-	83.73	88.56	90.77	93.3
100		230	Cycle 1	46	40	33	25
		280	Cycle 2	57	53	42	31
		250	Cycle 3	49	45	38	32
		265	Cycle 4	55	47	39	34
	ค่าต่ำสุด	230	-	46	40	33	25
	ค่าสูงสุด	280	-	57	53	42	34
	ค่าเฉลี่ย	256	-	52	46	38	30
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	-	79.82	81.98	85.18	88.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.12 ค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ความลาดชัน ความเร็ว (ต่อวินาที)	ซีโอดี	น้ำเข้า	จำนวน รอบเวลา เดินระบบ	ซีโอดี (น้ำออก) (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
				1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40		2,576	Cycle 1	657	628	592	532
		2,796	Cycle 2	727	693	661	581
		2,680	Cycle 3	673	646	639	531
		2,715	Cycle 4	679	661	618	556
	ค่าต่ำสุด	2,576	-	657	628	592	531
	ค่าสูงสุด	2,796	-	727	693	661	581
	ค่าเฉลี่ย	2,690	-	687	658	627	552
	ประสิทธิภาพ การกำจัด เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	-	74.6	75.6	76.7	79.57
60		2,576	Cycle 1	481	435	395	320
		2,796	Cycle 2	539	498	467	358
		2,680	Cycle 3	495	466	437	317
		2,715	Cycle 4	521	464	433	376
	ค่าต่ำสุด	2,576	-	481	435	395	317
	ค่าสูงสุด	2,796	-	539	498	467	376
	ค่าเฉลี่ย	2,690	-	509	466	432	344
	ประสิทธิภาพ การกำจัด เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	-	81.1	82.7	83.93	87.28

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.12 ค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน) (ต่อ)

ความลาดชัน ความเร็ว (ต่อวินาที)	ซีโอดี	น้ำเข้า	จำนวนรอบเวลาเดินระบบ	ซีโอดี (น้ำออก) (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
				1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
80		2,576	Cycle 1	557	536	502	437
		2,796	Cycle 2	621	588	556	496
		2,680	Cycle 3	578	534	505	442
		2,715	Cycle 4	601	548	534	487
	ค่าต่ำสุด	2,576	-	557	534	502	437
	ค่าสูงสุด	2,796	-	621	588	556	496
	ค่าเฉลี่ย	2,690	-	589	555	526	466
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	-	78.12	79.51	80.53	82.72
100		2,576	Cycle 1	603	578	546	477
		2,796	Cycle 2	668	643	617	538
		2,680	Cycle 3	659	642	621	532
		2,715	Cycle 4	652	643	623	503
	ค่าต่ำสุด	2,576	-	603	578	546	477
	ค่าสูงสุด	2,796	-	668	643	623	538
	ค่าเฉลี่ย	2,690	-	642	621	596	510
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	-	76.03	76.73	77.65	80.97

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.13 ค่าซัลเฟตและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ความลาดชัน ความเร็ว (ต่อวินาที)	ซัลเฟต	น้ำเข้า	จำนวนรอบเวลาเดินระบบ	ซัลเฟต (น้ำออก) (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
				1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40		231	Cycle 1	143	127	110	94
		273	Cycle 2	167	151	128	107
		254	Cycle 3	158	138	120	98
		268	Cycle 4	162	143	125	106
	ค่าต่ำสุด	231	-	143	127	110	94
	ค่าสูงสุด	273	-	167	151	128	107
	ค่าเฉลี่ย	255	-	157	140	120	101
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	-	38.57	45.51	52.9	60.5
60		231	Cycle 1	124	107	89	71
		273	Cycle 2	148	130	109	86
		254	Cycle 3	139	119	100	82
		268	Cycle 4	143	129	108	85
	ค่าต่ำสุด	231	-	124	107	89	71
	ค่าสูงสุด	273	-	148	130	109	86
	ค่าเฉลี่ย	255	-	138	120	101	80
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	-	46	52.77	60.47	68.44

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.13 ค่าซัลเฟตและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน) (ต่อ)

ความลาดชัน ความเร็ว (ต่อวินาที)	ซัลเฟต	น้ำเข้า	จำนวนรอบเวลาเดินระบบ	ซัลเฟต (น้ำออก) (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
				1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
80		231	Cycle 1	130	112	97	78
		273	Cycle 2	151	132	114	90
		254	Cycle 3	144	123	107	88
		268	Cycle 4	149	134	116	89
	ค่าต่ำสุด	231	-	130	112	97	78
	ค่าสูงสุด	273	-	151	134	116	90
	ค่าเฉลี่ย	255	-	143	125	108	86
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	-	44.03	51.18	57.7	66.35
100		231	Cycle 1	136	119	101	85
		273	Cycle 2	162	140	121	98
		254	Cycle 3	147	129	114	95
		268	Cycle 4	153	138	122	101
	ค่าต่ำสุด	231	-	136	119	101	85
	ค่าสูงสุด	273	-	162	140	122	101
	ค่าเฉลี่ย	255	-	149	131	114	94
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	-	41.7	48.73	55.39	63.05

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.14 ค่าซัลไฟด์ (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ความลาดชัน ความเร็ว (ต่อวินาที)	ซัลไฟด์	น้ำเข้า	จำนวน รอบเวลา เดินระบบ	ซัลไฟด์ (น้ำออก) (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
				1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40		3.3	Cycle 1	6.49	12.86	28.1	38.46
		3.57	Cycle 2	3.93	13.19	19.47	32.21
		3.43	Cycle 3	5.97	14.56	23.37	37.46
		3.47	Cycle 4	6.8	10.23	25.19	33.4
	ค่าต่ำสุด	3.3	-	3.93	10.23	19.47	32.21
	ค่าสูงสุด	3.57	-	6.8	14.56	28.1	38.46
	ค่าเฉลี่ย	3.44	-	5.65	12.61	23.95	35.37
60		3.3	Cycle 1	25.02	29.96	46.86	57.12
		3.57	Cycle 2	22.69	31.55	40.31	51.27
		3.43	Cycle 3	24.83	33.83	43.73	56.38
		3.47	Cycle 4	24.87	34.25	43.29	53.33
	ค่าต่ำสุด	3.3	-	22.69	29.96	40.31	51.27
	ค่าสูงสุด	3.57	-	25.02	34.25	46.86	57.12
	ค่าเฉลี่ย	3.44	-	24.19	32.3	43.56	54.42
80		3.3	Cycle 1	17.34	22.71	39	49.57
		3.57	Cycle 2	15.14	24.19	30.21	43.31
		3.43	Cycle 3	16.97	26.01	34.87	48.52
		3.47	Cycle 4	16.95	24.39	36.33	44.37
	ค่าต่ำสุด	3.3	-	15.14	22.71	30.21	43.31
	ค่าสูงสุด	3.57	-	17.34	26.01	39	49.57
	ค่าเฉลี่ย	3.44	-	16.48	24.34	34.94	46.44
100		3.3	Cycle 1	13.27	18.72	35.11	45.44
		3.57	Cycle 2	10.98	20.06	26.23	39.31
		3.43	Cycle 3	12.89	20.54	29.97	44.44
		3.47	Cycle 4	13.78	18.3	32.21	40.29
	ค่าต่ำสุด	3.3	-	10.98	18.3	26.23	39.31
	ค่าสูงสุด	3.57	-	13.78	20.54	35.11	45.44
	ค่าเฉลี่ย	3.44	-	12.61	19.41	30.81	42.37

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.15 ก๊าซชีวภาพ(อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ2กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ความลาดชัน ความเร็ว (ต่อวินาที)	ก๊าซชีวภาพ	จำนวน รอบเวลา เดินระบบ	ก๊าซชีวภาพ (มิลลิลิตรต่อวัน)			
			1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40		Cycle 1	82	110	138	175
		Cycle 2	86	112	138	170
		Cycle 3	85	114	140	178
		Cycle 4	80	108	134	168
	ค่าต่ำสุด	-	80	108	134	168
	ค่าสูงสุด	-	86	114	140	178
	ค่าเฉลี่ย	-	83	111	137	173
60		Cycle 1	118	150	179	220
		Cycle 2	122	154	184	224
		Cycle 3	124	158	186	216
		Cycle 4	120	156	188	224
	ค่าต่ำสุด	-	118	150	179	216
	ค่าสูงสุด	-	124	158	188	224
	ค่าเฉลี่ย	-	121	154	184	221
80		Cycle 1	103	126	154	196
		Cycle 2	98	122	144	188
		Cycle 3	108	130	160	198
		Cycle 4	100	122	152	190
	ค่าต่ำสุด	-	98	122	144	188
	ค่าสูงสุด	-	108	130	160	198
	ค่าเฉลี่ย	-	103	125	152	193
100		Cycle 1	94	116	152	187
		Cycle 2	94	120	142	182
		Cycle 3	98	122	158	192
		Cycle 4	94	112	155	180
	ค่าต่ำสุด	-	94	112	142	180
	ค่าสูงสุด	-	98	122	158	192
	ค่าเฉลี่ย	-	95	117	151	186

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.16 ค่าพีเอช (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ความลาดชัน ความเร็ว (ต่อวินาที)	พีเอช	น้ำเข้า	จำนวนรอบเวลาเดินระบบ	พีเอช (น้ำออก)			
				1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40		5.24	Cycle 1	6.06	6.49	7.65	8.56
		4.76	Cycle 2	6.12	7.07	7.78	8.23
		5.05	Cycle 3	6.39	7.71	8.12	8.56
		5.16	Cycle 4	6.16	7.04	7.73	8.12
	ค่าต่ำสุด	4.76	-	6.06	6.49	7.65	8.12
	ค่าสูงสุด	5.24	-	6.39	7.71	8.12	8.56
	ค่าเฉลี่ย	5.04	-	6.20	7.09	7.84	8.36
60		5.24	Cycle 1	6.56	7.43	7.57	7.75
		4.76	Cycle 2	6.53	7.27	7.56	7.64
		5.05	Cycle 3	6.72	7.03	7.45	7.67
		5.16	Cycle 4	6.45	7.34	7.67	7.83
	ค่าต่ำสุด	4.76	-	6.45	7.03	7.45	7.64
	ค่าสูงสุด	5.24	-	6.72	7.43	7.67	7.83
	ค่าเฉลี่ย	5.04	-	6.57	7.26	7.56	7.73
80		5.24	Cycle 1	6.79	7.12	7.54	7.88
		4.76	Cycle 2	6.67	7.34	7.60	7.81
		5.05	Cycle 3	6.98	7.27	7.68	8.03
		5.16	Cycle 4	6.24	7.22	7.78	7.95
	ค่าต่ำสุด	4.76	-	6.24	7.12	7.54	7.81
	ค่าสูงสุด	5.24	-	6.98	7.34	7.78	8.03
	ค่าเฉลี่ย	5.04	-	6.65	7.24	7.65	7.92
100		5.24	Cycle 1	6.45	7.26	7.91	8.28
		4.76	Cycle 2	6.34	7.54	8.16	8.55
		5.05	Cycle 3	6.67	7.53	8.16	8.45
		5.16	Cycle 4	6.22	7.18	7.59	8.03
	ค่าต่ำสุด	4.76	-	6.22	7.18	7.59	8.03
	ค่าสูงสุด	5.24	-	6.67	7.54	8.16	8.55
	ค่าเฉลี่ย	5.04	-	6.43	7.37	7.93	8.32

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.17 ค่าอุณหภูมิ(อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ความลาดชัน ความเร็ว (ต่อวินาที)	อุณหภูมิ	น้ำเข้า	จำนวน รอบเวลา เดินระบบ	อุณหภูมิ (น้ำออก) (องศาเซลเซียส)			
				1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40		26.2	Cycle 1	25.4	27.1	26.2	27.2
		28	Cycle 2	27.3	28.3	28.1	27.7
		28.5	Cycle 3	28.4	28.2	29.2	28.7
		28.4	Cycle 4	28.1	28.6	29.1	29.3
	ค่าต่ำสุด	26.2	-	25.4	27.1	26.2	27.2
	ค่าสูงสุด	28.5	-	28.4	28.6	29.2	29.3
	ค่าเฉลี่ย	27.6	-	27.2	28	28	28.2
60		26.2	Cycle 1	25.7	27.1	26	27.3
		28	Cycle 2	27.3	28.5	28.2	27.7
		28.5	Cycle 3	28.7	28.2	29.1	28.8
		28.4	Cycle 4	28.2	28.5	29.1	29.3
	ค่าต่ำสุด	26.2	-	25.7	27.1	26	27.3
	ค่าสูงสุด	28.5	-	28.7	28.5	29.1	29.3
	ค่าเฉลี่ย	27.6	-	27.4	28	28	28.2
80		26.2	Cycle 1	25.3	27	26.2	27.1
		28	Cycle 2	26.9	28.3	28	27.5
		28.5	Cycle 3	28.5	28.3	29.4	28.7
		28.4	Cycle 4	27.9	28.6	29.3	29.1
	ค่าต่ำสุด	26.2	-	25.3	27	26.2	27.1
	ค่าสูงสุด	28.5	-	28.5	28.6	29.4	29.1
	ค่าเฉลี่ย	27.6	-	27.1	28	28.1	28.1
100		26.2	Cycle 1	25.7	27.2	26.1	27.2
		28	Cycle 2	27.2	28.5	28.2	27.5
		28.5	Cycle 3	28.5	28.3	29.3	28.8
		28.4	Cycle 4	28.2	28.5	29.1	29.3
	ค่าต่ำสุด	26.2	-	25.7	27.2	26.1	27.2
	ค่าสูงสุด	28.5	-	28.5	28.5	29.3	29.3
	ค่าเฉลี่ย	27.6	-	27.3	28	28	28.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.18 ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ความลาดชัน ความเร็ว (ต่อวินาที)	ของแข็งแขวนลอย น้ำเข้า	จำนวนรอบเวลาเดินระบบ	ของแข็งแขวนลอย (น้ำออก) (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
			1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40	74	Cycle 1	19	18	14	10
	56	Cycle 2	15	13	10	8
	95	Cycle 3	23	21	16	12
	40	Cycle 4	11	10	8	6
	ค่าต่ำสุด	40	11	10	8	6
	ค่าสูงสุด	90	23	21	16	12
	ค่าเฉลี่ย	67	17	16	12	9
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	73.95	76.34	81.59	86.14
60	74	Cycle 1	10	6	5	4
	56	Cycle 2	7	5	4	3
	95	Cycle 3	14	10	9	7
	40	Cycle 4	5	4	3	2
	ค่าต่ำสุด	40	5	4	3	2
	ค่าสูงสุด	90	14	10	9	7
	ค่าเฉลี่ย	67	9	7	6	4
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	86.68	90.6	92.28	94.21

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.18 ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน) (ต่อ)

ความลาดชัน ความเร็ว (ต่อวินาที)	ของแข็งแขวนลอย	น้ำเข้า	จำนวนรอบเวลาเดินระบบ	ของแข็งแขวนลอย (น้ำออก) (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
				1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
80		74	Cycle 1	14	10	9	6
		56	Cycle 2	10	8	6	4
		95	Cycle 3	16	13	9	6
		40	Cycle 4	8	5	4	3
	ค่าต่ำสุด	40	-	8	5	4	3
	ค่าสูงสุด	90	-	16	13	9	6
	ค่าเฉลี่ย	67	-	12	9	7	5
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	-	81.59	86.5	89.41	92.73
100		74	Cycle 1	16	12	10	8
		56	Cycle 2	13	9	7	6
		95	Cycle 3	21	17	14	11
		40	Cycle 4	10	8	7	5
	ค่าต่ำสุด	40	-	10	8	7	5
	ค่าสูงสุด	90	-	21	17	14	11
	ค่าเฉลี่ย	67	-	15	12	10	8
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	-	77.01	82.45	85.43	88.6

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.19 ค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ความลาดชัน ความเร็ว (ต่อวินาที)	ซีโอดี	น้ำเข้า	จำนวนรอบเวลาเดินระบบ	ซีโอดี (น้ำออก) (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
				1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40		1,446	Cycle 1	349	330	287	274
		1,370	Cycle 2	344	319	279	268
		1,669	Cycle 3	393	368	318	296
		1,280	Cycle 4	320	299	268	255
	ค่าต่ำสุด	1,280	-	320	299	268	255
	ค่าสูงสุด	1,669	-	393	368	318	296
	ค่าเฉลี่ย	1,452	-	353	331	290	274
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	-	75.55	77.12	79.95	80.95
60		1,446	Cycle 1	245	231	201	142
		1,370	Cycle 2	251	225	194	138
		1,669	Cycle 3	296	257	220	193
		1,280	Cycle 4	238	213	183	128
	ค่าต่ำสุด	1,280	-	238	213	183	128
	ค่าสูงสุด	1,669	-	296	257	220	193
	ค่าเฉลี่ย	1,452	-	261	233	200	154
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	-	82.1	83.89	86.11	89.63

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.19 ค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน) (ต่อ)

ความลาดชัน ความเร็ว (ต่อวินาที)	ซีโอดี	น้ำเข้า	จำนวนรอบเวลาเดินระบบ	ซีโอดี (น้ำออก) (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
				1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
80		1,446	Cycle 1	278	248	227	182
		1,370	Cycle 2	257	245	232	187
		1,669	Cycle 3	334	321	302	265
		1,280	Cycle 4	264	253	236	201
	ค่าต่ำสุด	1,280	-	257	245	227	182
	ค่าสูงสุด	1,669	-	334	321	302	265
	ค่าเฉลี่ย	1,452	-	287	272	254	214
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	-	80.34	81.5	82.71	85.54
100		1,446	Cycle 1	317	280	244	216
		1,370	Cycle 2	310	276	221	209
		1,669	Cycle 3	348	314	256	244
		1,280	Cycle 4	294	258	201	180
	ค่าต่ำสุด	1,280	-	294	258	201	180
	ค่าสูงสุด	1,669	-	348	314	256	244
	ค่าเฉลี่ย	1,452	-	319	283	230	212
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	-	77.9	80.38	83.97	85.28

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.20 ค่าซัลเฟตและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ความลาดชัน ความเร็ว (ต่อวินาที)	ซัลเฟต	น้ำเข้า	จำนวนรอบเวลาเดินระบบ	ซัลเฟต (น้ำออก) (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
				1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40		112	Cycle 1	61	49	42	33
		92	Cycle 2	49	40	35	26
		127	Cycle 3	69	56	50	40
		81	Cycle 4	45	36	30	25
	ค่าต่ำสุด	81	-	45	36	30	25
	ค่าสูงสุด	127	-	69	56	50	40
	ค่าเฉลี่ย	103	-	56	46	40	32
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	-	45.6	56.06	62.01	69.98
60		112	Cycle 1	51	43	36	26
		92	Cycle 2	42	36	32	23
		127	Cycle 3	57	48	46	32
		81	Cycle 4	38	32	28	20
	ค่าต่ำสุด	81	-	38	32	28	20
	ค่าสูงสุด	127	-	57	48	46	32
	ค่าเฉลี่ย	103	-	47	40	36	26
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	-	54.26	61.29	65.57	73.98

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.20 ค่าซัลเฟตและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน) (ต่อ)

ความลาดชัน ความเร็ว (ต่อวินาที)	ซัลเฟต	น้ำเข้า	จำนวนรอบเวลาเดินระบบ	ซัลเฟต (น้ำออก) (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
				1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
80		112	Cycle 1	53	45	39	29
		92	Cycle 2	44	38	31	24
		127	Cycle 3	59	49	45	35
		81	Cycle 4	39	34	29	21
	ค่าต่ำสุด	81	-	39	34	29	21
	ค่าสูงสุด	127	-	59	49	45	35
	ค่าเฉลี่ย	103	-	49	42	36	28
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	-	52.56	59.49	65.06	73.63
100		112	Cycle 1	57	47	41	32
		92	Cycle 2	47	40	34	25
		127	Cycle 3	66	53	49	39
		81	Cycle 4	43	35	30	24
	ค่าต่ำสุด	81	-	43	35	30	24
	ค่าสูงสุด	127	-	66	53	49	39
	ค่าเฉลี่ย	103	-	54	44	39	31
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	-	48.24	57.4	62.7	70.98

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.21 ค่าซัลไฟด์ (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ความลาดชัน ความเร็ว (ต่อวินาที)	ซัลไฟด์	น้ำเข้า	จำนวน รอบเวลา เดินระบบ	ซัลไฟด์ (น้ำออก) (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
				1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40		2.06	Cycle 1	3.2	6.97	11.32	15.87
		1.95	Cycle 2	2.73	4.52	9.03	13.44
		0.77	Cycle 3	2.76	4.85	9.05	13.74
		1.54	Cycle 4	2.86	5.55	10.55	14.47
	ค่าต่ำสุด	0.77	-	2.70	4.52	9.03	13.44
	ค่าสูงสุด	2.06	-	3.20	6.97	11.32	15.87
	ค่าเฉลี่ย	1.53	-	2.90	5.56	10.05	14.47
60		2.06	Cycle 1	12.64	15.34	21.78	26.26
		1.95	Cycle 2	12.53	16.32	20.76	25.24
		0.77	Cycle 3	10.32	14.22	18.43	23.03
		1.54	Cycle 4	11.12	15.91	19.35	23.93
	ค่าต่ำสุด	0.77	-	10.32	14.22	18.43	23.03
	ค่าสูงสุด	2.06	-	12.64	16.32	21.78	26.26
	ค่าเฉลี่ย	1.53	-	11.6	15.38	20.09	24.63
80		2.06	Cycle 1	8.71	11.5	16.94	22.24
		1.95	Cycle 2	8.6	12.39	16.96	21.44
		0.77	Cycle 3	6.29	10.18	14.62	19.1
		1.54	Cycle 4	7.2	11.03	15.46	20.49
	ค่าต่ำสุด	0.77	-	6.29	10.18	14.62	19.1
	ค่าสูงสุด	2.06	-	8.71	12.39	16.96	22.24
	ค่าเฉลี่ย	1.53	-	7.63	11.28	15.93	20.77
100		2.06	Cycle 1	6.67	10.64	14.8	19.83
		1.95	Cycle 2	4.22	8.01	12.48	19.27
		0.77	Cycle 3	4.25	8.25	12.5	17.02
		1.54	Cycle 4	5.25	8.95	13.41	17.87
	ค่าต่ำสุด	0.77	-	4.22	8.01	12.48	17.02
	ค่าสูงสุด	2.06	-	6.67	10.64	14.8	19.83
	ค่าเฉลี่ย	1.53	-	5.21	9.08	13.41	18.47

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.22 ก๊าซชีวภาพ(อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ความลาดชัน ความเร็ว (ต่อวินาที)	ก๊าซชีวภาพ	จำนวน รอบเวลา เดินระบบ	ก๊าซชีวภาพ (มิลลิลิตรต่อวัน)			
			1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40		Cycle 1	36	56	64	84
		Cycle 2	46	54	72	82
		Cycle 3	40	52	66	88
		Cycle 4	42	53	64	81
	ค่าต่ำสุด	-	36	52	64	81
	ค่าสูงสุด	-	46	56	72	88
	ค่าเฉลี่ย	-	41	54	67	84
60		Cycle 1	62	70	76	106
		Cycle 2	56	77	90	112
		Cycle 3	64	76	96	108
		Cycle 4	58	76	96	110
	ค่าต่ำสุด	-	56	70	76	106
	ค่าสูงสุด	-	64	77	96	112
	ค่าเฉลี่ย	-	60	74	88	109
80		Cycle 1	48	59	78	94
		Cycle 2	46	60	67	90
		Cycle 3	54	60	74	100
		Cycle 4	46	62	78	92
	ค่าต่ำสุด	-	46	59	67	90
	ค่าสูงสุด	-	54	62	78	100
	ค่าเฉลี่ย	-	49	60	74	94
100		Cycle 1	44	52	78	90
		Cycle 2	48	62	70	88
		Cycle 3	46	64	82	96
		Cycle 4	44	52	74	88
	ค่าต่ำสุด	-	44	52	70	88
	ค่าสูงสุด	-	48	64	82	96
	ค่าเฉลี่ย	-	46	58	76	91

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.23 ค่าพีเอช (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ความลาดชัน ความเร็ว (ต่อวินาที)	พีเอช	น้ำเข้า	จำนวนรอบเวลาเดินระบบ	พีเอช (น้ำออก)			
				1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40		4.78	Cycle 1	6.09	6.49	7.82	8.67
		5.06	Cycle 2	6.27	7.19	7.73	8.46
		4.82	Cycle 3	6.07	6.45	7.71	8.56
		5.15	Cycle 4	6.17	7.09	7.96	8.89
	ค่าต่ำสุด	4.78	-	6.07	6.45	7.71	8.46
	ค่าสูงสุด	5.15	-	6.27	7.19	7.96	8.89
	ค่าเฉลี่ย	4.96	-	6.16	6.81	7.82	8.66
60		4.78	Cycle 1	6.57	7.17	7.39	7.65
		5.06	Cycle 2	6.74	7.34	7.64	7.81
		4.82	Cycle 3	6.42	7.14	7.59	7.72
		5.15	Cycle 4	6.89	7.33	7.65	8.18
	ค่าต่ำสุด	4.78	-	6.42	7.14	7.39	7.65
	ค่าสูงสุด	5.15	-	6.89	7.34	7.65	8.18
	ค่าเฉลี่ย	4.96	-	6.66	7.24	7.55	7.87
80		4.78	Cycle 1	6.39	7.08	7.56	7.97
		5.06	Cycle 2	6.48	7.23	7.65	8.10
		4.82	Cycle 3	6.35	7.32	7.46	7.97
		5.15	Cycle 4	6.42	7.13	7.76	8.44
	ค่าต่ำสุด	4.78	-	6.35	7.08	7.46	7.97
	ค่าสูงสุด	5.15	-	6.48	7.32	7.76	8.44
	ค่าเฉลี่ย	4.96	-	6.41	7.19	7.61	8.15
100		4.78	Cycle 1	6.21	7.25	7.79	8.17
		5.06	Cycle 2	6.33	7.26	7.94	8.21
		4.82	Cycle 3	6.26	7.07	7.75	8.14
		5.15	Cycle 4	6.33	7.56	7.83	8.68
	ค่าต่ำสุด	4.78	-	6.21	7.07	7.75	8.14
	ค่าสูงสุด	5.15	-	6.33	7.56	7.94	8.68
	ค่าเฉลี่ย	4.96	-	6.28	7.30	7.83	8.34

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.24ค่าอุณหภูมิ(อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ0.5กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ความลาดชัน ความเร็ว (ต่อวินาที)	อุณหภูมิ	น้ำเข้า	จำนวน รอบเวลา เดินระบบ	อุณหภูมิ (น้ำออก) (องศาเซลเซียส)			
				1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40		29.3	Cycle 1	29.3	29.1	29.3	29.4
		30.2	Cycle 2	30.2	30.4	30.4	30.1
		30.4	Cycle 3	30.3	30.4	30.3	30.2
		30.2	Cycle 4	30.3	30.3	30.1	30.4
	ค่าต่ำสุด	29.3	-	29.3	29.1	29.3	29.4
	ค่าสูงสุด	30.4	-	30.3	30.4	30.4	30.4
	ค่าเฉลี่ย	29.9	-	29.9	29.9	29.9	29.9
60		29.3	Cycle 1	29.5	29.4	29.2	29.5
		30.2	Cycle 2	30.1	30.2	30.3	30.2
		30.4	Cycle 3	30.3	30.2	30.4	30.3
		30.2	Cycle 4	30	30.3	30.2	30.4
	ค่าต่ำสุด	29.3	-	29.5	29.4	29.2	29.5
	ค่าสูงสุด	30.4	-	30.3	30.3	30.4	30.4
	ค่าเฉลี่ย	29.9	-	29.9	29.9	29.9	30.1
80		29.3	Cycle 1	29.3	29.1	29.1	29.1
		30.2	Cycle 2	30.3	30.3	30.4	29.9
		30.4	Cycle 3	30.2	30.1	30.2	30.3
		30.2	Cycle 4	30.1	30.2	29.9	30.2
	ค่าต่ำสุด	29.3	-	29.3	29.1	29.1	29.1
	ค่าสูงสุด	30.4	-	30.3	30.3	30.4	30.3
	ค่าเฉลี่ย	29.9	-	29.9	29.8	29.8	29.8
100		29.3	Cycle 1	29.4	29.3	29	29.4
		30.2	Cycle 2	30.2	30.1	30.2	30.4
		30.4	Cycle 3	30.4	30.3	30.3	30.4
		30.2	Cycle 4	30.2	30.2	30.1	30.3
	ค่าต่ำสุด	29.3	-	29.4	29.3	29	29.4
	ค่าสูงสุด	30.4	-	30.4	30.3	30.3	30.4
	ค่าเฉลี่ย	29.9	-	30	29.9	29.8	30.1

ตารางที่ ก.25 ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ความลาดชัน ความเร็ว (ต่อวินาที)	ของแข็งแขวนลอย	น้ำเข้า	จำนวนรอบเวลาเดินระบบ	ของแข็งแขวนลอย (น้ำออก) (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
				1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40		15	Cycle 1	4	4	3	3
		18	Cycle 2	5	4	4	3
		29	Cycle 3	8	7	6	4
		47	Cycle 4	11	9	8	6
	ค่าต่ำสุด	15	-	4	4	3	3
	ค่าสูงสุด	47	-	11	9	8	6
	ค่าเฉลี่ย	29	-	7	6	5	4
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	-	73.63	76.95	80.01	84.19
60		15	Cycle 1	2	2	2	1
		18	Cycle 2	3	3	2	1
		29	Cycle 3	5	4	3	1
		47	Cycle 4	7	5	3	2
	ค่าต่ำสุด	15	-	2	2	2	1
	ค่าสูงสุด	47	-	7	5	3	2
	ค่าเฉลี่ย	29	-	4	4	3	1
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	-	84.46	86.38	89.7	95.01

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.25 ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน) (ต่อ)

ความลาดชัน ความเร็ว (ต่อวินาที)	ของแข็งแขวนลอย	น้ำเข้า	จำนวนรอบเวลาเดินระบบ	ของแข็งแขวนลอย (น้ำออก) (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
				1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40		15	Cycle 1	3	2	2	2
		18	Cycle 2	4	3	2	2
		29	Cycle 3	6	5	4	2
		47	Cycle 4	9	7	6	4
	ค่าต่ำสุด	15	-	3	2	2	2
	ค่าสูงสุด	47	-	9	7	6	4
	ค่าเฉลี่ย	29	-	6	4	4	3
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	-	79.48	84.46	87.24	90.03
60		15	Cycle 1	3	3	2	2
		18	Cycle 2	4	3	3	2
		29	Cycle 3	7	6	5	3
		47	Cycle 4	10	8	7	5
	ค่าต่ำสุด	15	-	3	3	2	2
	ค่าสูงสุด	47	-	10	8	7	5
	ค่าเฉลี่ย	29	-	6	5	4	3
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	-	78.09	81.4	84.46	88.64

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.26 ค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ความลาดชัน ความเร็ว (ต่อวินาที)	ซีโอดี	น้ำเข้า	จำนวนรอบเวลาเดินระบบ	ซีโอดี (น้ำออก) (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
				1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40		589	Cycle 1	132	123	110	81
		666	Cycle 2	160	142	132	101
		693	Cycle 3	164	157	142	116
		736	Cycle 4	169	152	139	104
	ค่าต่ำสุด	589	-	132	123	110	81
	ค่าสูงสุด	736	-	169	157	142	116
	ค่าเฉลี่ย	668	-	154	142	129	100
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	-	76.74	78.62	80.53	85.05
60		589	Cycle 1	78	74	69	32
		666	Cycle 2	95	90	83	43
		693	Cycle 3	107	103	81	55
		736	Cycle 4	101	88	73	50
	ค่าต่ำสุด	589	-	78	74	69	32
	ค่าสูงสุด	736	-	107	103	83	55
	ค่าเฉลี่ย	668	-	94	89	76	45
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	-	85.83	86.78	88.56	93.35

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.26 ค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน) (ต่อ)

ความลาดชัน ความเร็ว (ต่อวินาที)	ซีโอดี	น้ำเข้า	จำนวนรอบเวลาเดินระบบ	ซีโอดี (น้ำออก) (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
				1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
80		589	Cycle 1	92	86	81	53
		666	Cycle 2	110	100	94	64
		693	Cycle 3	109	95	90	68
		736	Cycle 4	115	102	84	66
	ค่าต่ำสุด	589	-	92	86	81	53
	ค่าสูงสุด	736	-	115	102	94	68
	ค่าเฉลี่ย	668	-	106	95	87	62
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	-	84.13	85.7	86.94	90.65
100		589	Cycle 1	102	96	88	61
		666	Cycle 2	122	116	93	80
		693	Cycle 3	131	124	109	94
		736	Cycle 4	138	120	110	86
	ค่าต่ำสุด	589	-	102	96	88	61
	ค่าสูงสุด	736	-	138	124	110	94
	ค่าเฉลี่ย	668	-	122	113	100	79
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	-	81.68	83.02	85.1	88.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.27 ค่าซัลเฟตและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ความลาดชัน ความเร็ว (ต่อวินาที)	ซัลเฟต	น้ำเข้า	จำนวนรอบเวลาเดินระบบ	ซัลเฟต (น้ำออก) (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
				1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40		29	Cycle 1	11	10	8	6
		40	Cycle 2	16	14	12	9
		51	Cycle 3	18	16	15	12
		54	Cycle 4	18	16	17	13
	ค่าต่ำสุด	29	-	11	10	8	6
	ค่าสูงสุด	54	-	18	16	17	13
	ค่าเฉลี่ย	43	-	15	14	13	10
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	-	63.36	67.38	70.38	77.3
60		29	Cycle 1	6	5	3	2
		40	Cycle 2	9	7	5	3
		51	Cycle 3	11	10	5	3
		54	Cycle 4	12	11	6	4
	ค่าต่ำสุด	29	-	6	5	3	2
	ค่าสูงสุด	54	-	12	11	6	4
	ค่าเฉลี่ย	43	-	9	8	5	3
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	-	78.26	81.32	89.06	93.08

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.27 ค่าซัลเฟตและประสิทธิภาพการกำจัด (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน) (ต่อ)

ความลาดชัน ความเร็ว (ต่อวินาที)	ซัลเฟต	น้ำเข้า	จำนวนรอบเวลาเดินระบบ	ซัลเฟต (น้ำออก) (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
				1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
80		29	Cycle 1	8	6	5	3
		40	Cycle 2	12	8	7	5
		51	Cycle 3	16	11	10	6
		54	Cycle 4	16	12	10	7
	ค่าต่ำสุด	29	-	8	6	5	3
	ค่าสูงสุด	54	-	16	12	10	7
	ค่าเฉลี่ย	43	-	13	9	8	5
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	-	70.35	78.88	81.78	88.11
100		29	Cycle 1	9	8	4	5
		40	Cycle 2	13	12	7	8
		51	Cycle 3	17	16	8	11
		54	Cycle 4	16	15	8	12
	ค่าต่ำสุด	29	-	9	8	4	5
	ค่าสูงสุด	54	-	17	16	8	12
	ค่าเฉลี่ย	43	-	14	13	7	9
	ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	-	-	68.38	70.82	84.55	79.74

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.28 ค่าซัลไฟด์(อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ0.5กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ความลาดชัน ความเร็ว (ต่อวินาที)	ซัลไฟด์	น้ำเข้า	จำนวน รอบเวลา เดินระบบ	ซัลไฟด์ (น้ำออก) (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
				1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40		0.82	Cycle 1	1.52	2.14	4.18	6.42
		0.93	Cycle 2	1.71	2.44	4.28	7.06
		0.97	Cycle 3	1.13	3.03	5.24	6.64
		1.03	Cycle 4	1.91	2.9	5.02	7.62
	ค่าต่ำสุด	0.82	-	1.13	2.14	4.18	6.42
	ค่าสูงสุด	1.03	-	1.91	3.03	5.24	7.62
	ค่าเฉลี่ย	0.93	-	1.55	2.61	4.69	6.96
60		0.82	Cycle 1	5.06	6.59	9.27	10.96
		0.93	Cycle 2	5.72	7.82	9.84	12.08
		0.97	Cycle 3	5.76	7.66	9.87	11.51
		1.03	Cycle 4	5.82	7.51	9.39	12.17
	ค่าต่ำสุด	0.82	-	5.06	6.59	9.27	10.96
	ค่าสูงสุด	1.03	-	5.82	7.82	9.87	12.17
	ค่าเฉลี่ย	0.93	-	5.54	7.33	9.6	11.64
80		0.82	Cycle 1	3.59	4.89	7.12	9.45
		0.93	Cycle 2	3.57	5.65	7.78	10.21
		0.97	Cycle 3	3.8	5.69	7.93	9.55
		1.03	Cycle 4	3.58	5.57	7.79	10.12
	ค่าต่ำสุด	0.82	-	3.57	4.89	7.12	9.45
	ค่าสูงสุด	1.03	-	3.8	5.69	7.93	10.21
	ค่าเฉลี่ย	0.93	-	3.65	5.4	7.61	9.83
100		0.82	Cycle 1	2.46	4.47	6.69	8.93
		0.93	Cycle 2	2.45	4.46	6.68	8.91
		0.97	Cycle 3	2.87	5.05	7.22	8.52
		1.03	Cycle 4	2.65	4.54	6.76	8.19
	ค่าต่ำสุด	0.82	-	2.45	4.46	6.68	8.19
	ค่าสูงสุด	1.03	-	2.87	5.05	7.22	8.93
	ค่าเฉลี่ย	0.93	-	2.63	4.67	6.88	8.61

ตารางที่ก.29ก๊าซชีวภาพ(อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ0.5กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ความลาดชัน ความเร็ว (ต่อวินาที)	ก๊าซชีวภาพ	จำนวน รอบเวลา เดินระบบ	ก๊าซชีวภาพ (มิลลิลิตรต่อวัน)			
			1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
40		Cycle 1	14	17	26	32
		Cycle 2	14	21	24	31
		Cycle 3	17	22	24	36
		Cycle 4	14	17	30	37
	ค่าต่ำสุด	-	14	17	24	31
	ค่าสูงสุด	-	17	22	30	37
	ค่าเฉลี่ย	-	15	19	26	34
60		Cycle 1	26	32	35	50
		Cycle 2	30	35	42	53
		Cycle 3	33	36	45	52
		Cycle 4	27	35	45	53
	ค่าต่ำสุด	-	26	32	35	50
	ค่าสูงสุด	-	33	36	45	53
	ค่าเฉลี่ย	-	29	34	41	52
80		Cycle 1	21	26	36	44
		Cycle 2	20	31	30	41
		Cycle 3	24	30	35	47
		Cycle 4	24	28	37	47
	ค่าต่ำสุด	-	20	26	30	41
	ค่าสูงสุด	-	24	31	37	47
	ค่าเฉลี่ย	-	22	29	34	45
100		Cycle 1	17	22	31	37
		Cycle 2	19	27	29	37
		Cycle 3	20	26	30	42
		Cycle 4	20	22	34	42
	ค่าต่ำสุด	-	17	22	29	37
	ค่าสูงสุด	-	20	27	34	42
	ค่าเฉลี่ย	-	19	24	31	40

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ตารางที่ ข.1 ผลการวิเคราะห์น้ำเสียยางข้นด้วยสถิติ F-test (Oneway ANOVA)อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน

ประสิทธิภาพการกำจัด	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error
ของแข็งแขวนลอย				
G = 40 s-1	4	80.3600	0.27215	0.13608
G = 60 s-1	4	96.0000	1.56412	0.78206
G = 80 s-1	4	92.9925	0.48148	0.24074
G = 100 s-1	4	86.7200	0.82134	0.41067
Total	16	89.0181	6.26859	1.56715
Model Fixed Effects			0.92560	0.23140
Random Effects				3.47355
ซีโอดี				
G = 40 s-1	4	77.0525	0.66780	0.33390
G = 60 s-1	4	85.2175	0.82754	0.41377
G = 80 s-1	4	80.9700	0.66368	0.33184
G = 100 s-1	4	79.1950	0.28827	0.14414
Total	16	80.6088	3.15203	0.78801
Model Fixed Effects			0.64311	0.16078
Random Effects				1.73245
ซัลเฟต				
G = 40 s-1	4	55.3575	0.35103	0.17552
G = 60 s-1	4	67.6600	0.67681	0.33840
G = 80 s-1	4	63.7900	0.76555	0.38277
G = 100 s-1	4	58.8550	0.44321	0.22160
Total	16	61.4156	4.86923	1.21731
Model Fixed Effects			0.58391	0.14598
Random Effects				2.70628

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบเอเอสบีอาร์ที่ความลาดชันความเร็วแตกต่างกันของน้ำเสียยางข้นด้วยสถิติ F-test (Oneway ANOVA) อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน

ประสิทธิภาพการกำจัด	Sum of Square	df	Mean Square	F	Sig.
ของแข็งแขวนลอย					
Between Group	579.147	3	193.049	225.330	0.000
Within Group	10.281	12	0.857		
Total	589.428	15			
ซีโอดี					
Between Group	144.067	3	48.022	116.111	0.000
Within Group	4.963	12	0.414		
Total	149.030	15			
ซัลเฟต					
Between Group	351.550	3	117.183	343.699	0.000
Within Group	4.091	12	0.341		
Total	355.642	15			

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.3 ผลการวิเคราะห์น้ำเสียยางข้นด้วยสถิติ F-test (Oneway ANOVA) อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน

ประสิทธิภาพการกำจัด	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error
ของแข็งแขวนลอย				
G = 40 s-1	4	82.4750	1.02757	0.51378
G = 60 s-1	4	96.6225	0.87328	0.43664
G = 80 s-1	4	93.3000	0.94407	0.47203
G = 100 s-1	4	88.1075	1.06841	0.53420
Total	16	90.1263	5.60427	1.40107
Model Fixed Effects			0.98123	0.24531
Random Effects				3.09423
ซีโอดี				
G = 40 s-1	4	79.5700	0.43120	0.21560
G = 60 s-1	4	87.2750	0.84957	0.42478
G = 80 s-1	4	82.7175	0.67668	0.33834
G = 100 s-1	4	80.9650	0.63940	0.31970
Total	16	82.6319	3.05725	0.76431
Model Fixed Effects			0.66604	3.05725
Random Effects				0.66604
ซัลเฟต				
G = 40 s-1	4	60.4975	0.88714	0.44357
G = 60 s-1	4	68.4400	0.63770	0.31885
G = 80 s-1	4	66.3500	0.74619	0.37310
G = 100 s-1	4	63.0525	0.79059	0.39529
Total	16	64.5850	3.21721	0.80430
Model Fixed Effects			0.77064	0.19266
Random Effects				1.75671

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบเอเอสบีอาร์ที่ความลาดชันความเร็วแตกต่างกันของน้ำเสียยางข้นด้วยสถิติ F-test (Oneway ANOVA) อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน

ประสิทธิภาพการกำจัด	Sum of Square	df	Mean Square	F	Sig.
ของแข็งแขวนลอย					
Between Group	459.564	3	153.188	159.103	0.000
Within Group	11.554	12	0.963		
Total	471.118	15			
ซีโอดี					
Between Group	134.878	3	44.959	101.350	0.000
Within Group	5.323	12	0.444		
Total	140.201	15			
ซัลเฟต					
Between Group	148.130	3	49.377	83.143	0.000
Within Group	7.127	12	0.594		
Total	155.256	15			

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.5 ผลการวิเคราะห์น้ำเสียยางข้นด้วยสถิติ F-test (Oneway ANOVA) อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน

ประสิทธิภาพการกำจัด	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error
ของแข็งแขวนลอย				
G = 40 s-1	4	86.1425	1.01978	0.50989
G = 60 s-1	4	94.2150	1.07233	0.53617
G = 80 s-1	4	92.7325	0.74786	0.37393
G = 100 s-1	4	88.6000	0.82998	0.41499
Total	16	90.4225	3.42296	0.85574
Model Fixed Effects			0.92709	0.23177
Random Effects				1.85650
ซีโอดี				
G = 40 s-1	4	80.9575	0.95619	0.47809
G = 60 s-1	4	89.6375	0.80525	0.40262
G = 80 s-1	4	85.5450	1.60280	0.80140
G = 100 s-1	4	85.2800	0.51173	0.25586
Total	16	85.3550	3.30715	0.82679
Model Fixed Effects			1.04804	0.26201
Random Effects				1.77293
ซัลเฟต				
G = 40 s-1	4	69.9800	1.44997	0.72498
G = 60 s-1	4	75.4750	0.90142	0.45071
G = 80 s-1	4	73.6325	0.79968	0.39984
G = 100 s-1	4	70.9800	1.51142	0.75571
Total	16	72.5169	2.48580	0.62145
Model Fixed Effects			1.20819	0.30205
Random Effects				1.25143

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบเอเอสบีอาร์ที่ความลาดชันความเร็วแตกต่างกันของน้ำเสียยางข้นด้วยสถิติ F-test (Oneway ANOVA) อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน

ประสิทธิภาพการกำจัด	Sum of Square	df	Mean Square	F	Sig.
ของแข็งแขวนลอย					
Between Group	165.436	3	55.145	64.160	0.000
Within Group	10.314	12	0.860		
Total	175.750	15			
ซีโอดี					
Between Group	150.878	3	50.293	45.788	0.000
Within Group	13.181	12	1.098		
Total	164.059	15			
ซัลเฟต					
Between Group	75.171	3	25.057	17.166	0.000
Within Group	17.517	12	1.460		
Total	92.688	15			

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.7 ผลการวิเคราะห์น้ำเสียยางข้นด้วยสถิติ F-test (Oneway ANOVA) อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน

ประสิทธิภาพการกำจัด	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error
ของแข็งแขวนลอย				
G = 40 s-1	4	84.1900	3.24435	1.62217
G = 60 s-1	4	95.0150	1.42029	0.71015
G = 80 s-1	4	90.0325	2.83924	1.41962
G = 100 s-1	4	88.6400	1.35664	0.67832
Total	16	89.4694	4.51558	1.12890
Model Fixed Effects			2.36880	0.59220
Random Effects				2.22918
ซีโอดี				
G = 40 s-1	4	85.0525	1.33727	0.66864
G = 60 s-1	4	93.3450	1.03410	0.51705
G = 80 s-1	4	90.6525	0.42664	0.21332
G = 100 s-1	4	88.0975	1.31500	0.65750
Total	16	89.2869	3.31681	0.82920
Model Fixed Effects			1.09189	0.27297
Random Effects				1.77195
ซัลเฟต				
G = 40 s-1	4	77.3025	1.48839	0.74419
G = 60 s-1	4	93.0775	0.74352	0.37176
G = 80 s-1	4	88.1100	1.14548	0.57274
G = 100 s-1	4	79.7425	2.21703	1.10852
Total	16	84.5581	6.68883	1.67221
Model Fixed Effects			1.49962	0.37491
Random Effects				3.66322

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.8 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบเอเอสบีอาร์ที่ความลาดชันความเร็วแตกต่างกันของน้ำเสียยางข้นด้วยสถิติ F-test (Oneway ANOVA) อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน

ประสิทธิภาพการกำจัด	Sum of Square	df	Mean Square	F	Sig.
ของแข็งแขวนลอย					
Between Group	238.523	3	79.508	14.169	0.000
Within Group	67.334	12	5.611		
Total	305.857	15			
ซีโอดี					
Between Group	150.711	3	50.237	42.137	0.000
Within Group	14.307	12	1.192		
Total	165.018	15			
ซัลเฟต					
Between Group	644.120	3	214.707	95.473	0.000
Within Group	26.986	12	2.249		
Total	671.106	15			

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

การคำนวณสมดุลมวลของสารในระบบ

ตัวอย่างการคำนวณสมดุลมวลของซีโอดี

จากข้อมูลในตารางที่ 4.31 ของการทดลอง ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ของถังปฏิกรณ์ที่มีความลาดชันความเร็ว 40 ต่อวินาที อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบ 7.5 ลิตร

ซีโอดีเข้า	3,976	มิลลิกรัมต่อลิตร
ซีโอดีออก	912	มิลลิกรัมต่อลิตร
ซัลเฟตเข้า	258	มิลลิกรัมต่อลิตร
ซัลเฟตออก	115	มิลลิกรัมต่อลิตร
ก๊าซทั้งหมดต่อวัน	261	มิลลิลิตรต่อวัน
สัดส่วนของก๊าซมีเทน	39.93	เปอร์เซ็นต์

จากสมการ 2.7 ในหัวข้อ 2.5

$$\%\text{COD recovery} = \frac{\Delta SO_4^{2-}\text{- COD+soluble organic COD+soluble } CH_4\text{–COD+}CH_{4\,gas}\text{ COD}}{COD_{in}} \times 100 \quad \ldots\ldots(2.7)$$

ΔSO_4^{2-}COD = (ซัลเฟตเข้า - ซัลเฟตออก) × 2/3

= (258 - 115) × 2/3

= 95 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปซีโอดี

soluble organic COD = ซีโอดีออก

= 912 มิลลิกรัมต่อลิตร

soluble CH_4–COD = K_{hCH4}× Partial Pressure of CH_4×16,000 × 4

= $12.4 \times 10^{-4} \times 0.3993 \times 16{,}000 \times 4$

= 31.69 มิลลิกรัมต่อลิตร

$CH_{4\,gas}$ COD = (Total gas volume × % CH_4/24.86) × 16 × 4/Q

= (261 × 0.3993/24.86) × 16 × 4/7.5

= 35.77 มิลลิกรัมต่อลิตร

$$\%\text{COD recovery} = \frac{(95 + 912 + 31.69 + 35.77)}{3{,}976} \times 100$$

= 27.02 %

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัดส่วนการใช้ซีโอดีของแบคทีเรียในระบบ

จากสมการที่ 2.8 และ 2.9 ในหัวข้อ 2.5

$$\%\text{electron flow to MBP} = [(CH_4 - COD) / (CH_4 - COD + \Delta SO_4^{2-} - COD)] \quad \ldots\ldots\ldots (2.8)$$

$$\%\text{electron flow to SRB} = [(\Delta SO_4^{2-} - COD) / (CH_4 - COD + \Delta SO_4^{2-} - COD)] \quad \ldots\ldots\ldots (2.9)$$

ดังนั้น

$$\%\text{electron flow to MBP} = [(35.77 + 31.69) / (35.77 + 31.69 + 95)] \times 100$$

$$= 41.52\ \%$$

$$\%\text{electron flow to SRB} = [(95) / (35.77 + 31.69 + 95)] \times 100$$

$$= 58.48\ \%$$

ตัวอย่างการคำนวณสมดุลมวลของซัลเฟอร์

จากข้อมูลในตารางที่ 4.33 ของการทดลอง ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร/วัน ของถังปฏิกรณ์ที่มีความลาดชันความเร็ว 40 ต่อวินาที อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบ 7.5 ลิตรต่อวัน

ซัลเฟตเข้า	258	มิลลิกรัมต่อลิตร
ซัลเฟตออก	115	มิลลิกรัมต่อลิตร
ซัลไฟด์ในน้ำออกทั้งหมด	69.22	มิลลิกรัมต่อลิตร
ซัลไฟด์ในรูปก๊าซ	9.14	มิลลิกรัมต่อลิตร

จากสมการ 2.13 ในหัวข้อ 2.6

$$\%\text{sulfur recovery} = [(SO_4^{2-}{}_{eff} + S^{2-} + HS^- + H_2S_{aq} + H_2S_{gas}) / SO_4^{2-}{}_{in})] \times 100 \quad \ldots\ldots\ldots (2.13)$$

เมื่อ

$SO_4^{2-}{}_{in}$ = ซัลเฟอร์ที่อยู่ในรูปซัลเฟตที่อยู่ในน้ำเข้า

$SO_4^{2-}{}_{eff}$ = ซัลเฟอร์ที่อยู่ในรูปซัลเฟตที่อยู่ในน้ำออก

S^{2-} = ซัลเฟอร์ที่อยู่ในรูปซัลไฟด์อิออน

HS^- = ซัลเฟอร์ที่อยู่ในรูปไฮโดรเจนซัลไฟด์ละลายน้ำที่แตกตัว

H_2S_{aq} = ซัลเฟอร์ที่อยู่ในรูปซัลไฟด์ละลายน้ำที่ไม่แตกตัว

H_2S_{gas} = ซัลเฟอร์ที่อยู่ในรูปไฮโดรเจนซัลไฟด์ในสถานะก๊าซ

โดย $S^{2-} + HS^- + H_2S_{aq}$ คือ ปริมาณซัลไฟด์น้ำออกทั้งหมด

ซัลไฟด์ทั้งหมด = 69.22 × 3 (ซัลไฟด์ 1 กรัม มาจากซัลเฟต 3 กรัม)

= 207.66 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปซัลเฟต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ซัลไฟด์ในรูปก๊าซ = ก๊าซซัลไฟด์ × ปริมารตรชุดดักก๊าซ × 3 / Q

= 91.38 × 0.25 × 3 / 7.5

= 9.14 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปซัลเฟต

ดังนั้น % sulfur recovery = [(115+ 207.66 + 9.14) / 258)] × 100

= 128.60 %

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวณัฐกานต์ กาญจนวัฒน์ เกิดเมื่อวันที่ 12 มิถุนายน 2527 จังหวัดฉะเชิงเทรา สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมต้นและมัธยมปลาย จากโรงเรียนเบญจมราชรังสฤษฎิ์ ฉะเชิงเทรา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต คณะสาธารณสุขศาสตร์และสิ่งแวดล้อม จากมหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ ในปีการศึกษา 2549 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2550

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย